

UNIVERSIDADE DE LISBOA
Faculdade de Ciências
Departamento de Informática



Aprendizagem Interactiva da Escrita

Joana Leonor Lourenço Pereira

MESTRADO EM INFORMÁTICA

2010

UNIVERSIDADE DE LISBOA
Faculdade de Ciências
Departamento de Informática



Aprendizagem Interactiva da Escrita

Joana Leonor Lourenço Pereira

DISSERTAÇÃO

Projecto orientado pelo Prof. Doutor Luís Manuel Pinto da Rocha Afonso Carriço

MESTRADO EM INFORMÁTICA

2010

Agradecimentos

Para elaborar este trabalho contei com o apoio e participação de muitas pessoas desde o nascimento da primeira ideia que o originou até ao culminar sob a forma desta dissertação. A todas elas, apresento desde já o meu muito obrigada pelos seus contributos e pela confiança que depositaram em mim e no meu trabalho.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais por terem sido incansáveis durante os últimos anos na motivação que me deram para prosseguir a minha formação académica. A eles tudo devo e por isso, os meus mais profundos agradecimentos.

Agradeço ao meu marido, Carlos, que nos momentos de desalento mais me apoiou e motivou. Foi o meu confidente quando escutou os meus desabafos. Foi o meu ajudante quando precisei de assistência logística (durante os testes e entrevistas que efectuei). Foi o meu crítico quando discuti com ele diversos aspectos do meu trabalho de modo a organizar melhor as minhas ideias. Foi o meu amigo quando me deu a mão para não sentir medo nem desanimar ao longo deste caminho.

Às crianças, Carolina, Pedro, Margarida, Beatriz e Simão, e às mais pequeninas Matilde e Íris, que participaram nas sessões de avaliação de uma das componentes deste trabalho e que revelaram ser crianças verdadeiramente encantadoras, um beijinho muito grande de agradecimento. Gostei muito de ter passado com elas esses momentos. Saibam que muito ajudaram para a finalização deste projecto, e que sem elas, que foram a minha verdadeira inspiração, teria sido impossível.

À Sr^a. Professora Simone Palma, agradeço a disponibilização do seu tempo em prol deste trabalho, a sua amizade, as suas opiniões e contributos tão valiosos, que tanto enriqueceram este trabalho e que tanto potenciam o futuro desenvolvimento desta ideia.

Aos pais das crianças obrigada por terem contribuído com sugestões que aumentaram a qualidade dos protótipos desenvolvidos. Aos meus amigos e colegas, que demonstraram interesse em conhecer o meu trabalho, obrigada pelo reconhecimento.

Finalmente, agradeço ao meu orientador, Professor Luís "Chefe"Carriço, por ter valorizado inicialmente as minhas ideias, supervisionado e orientado o desenvolvimento do meu trabalho. A ele, estou muito agradecida pela paciência que teve comigo e por todas as conversas que tanto contribuíram para a elaboração desta dissertação.

À minha família.

Resumo

O ensino e a aprendizagem da escrita gráfica são processos complementares longos e evolutivos que, tradicionalmente, envolvem profundamente tanto professores quanto crianças. Da parte do professor, requer-se que este transmita e exemplifique as formas correctas de executar os movimentos cinestésicos da caligrafia. Dos alunos espera-se a execução continuada dos exercícios, para aperfeiçoamento das suas capacidades de coordenação motora.

É frequente, durante este processo de ensino/aprendizagem, o professor dirigir fisicamente o aluno, exemplificando a sequência de movimentos correcta. Por outro lado, o aluno necessita que o professor lhe indique se o seu aproveitamento nessas tarefas é positivo, ou negativo. Neste último caso, o professor terá de efectuar um acompanhamento mais próximo para auxiliar a criança a ultrapassar as limitações demonstradas.

Havendo uma tão grande dependência entre estes dois intervenientes, procurou-se desenvolver uma solução capaz de fornecer a autonomização necessária a ambos, que se reflecte na redução significativa dos tempos das tarefas de acompanhamento prolongado individual de cada aluno, libertando o professor para que este possa desenvolver um trabalho mais especializado junto dos que revelem maiores dificuldades na aprendizagem da escrita caligráfica.

Neste sentido, desenvolveu-se uma plataforma, baseada em dispositivos tácteis - tablet PC, que suportou a construção de duas ferramentas protótipo: uma direccionada para assistir os professores nas tarefas de definição de exercícios e visualização das suas execuções pelos alunos, e outra para fornecer o suporte necessário às crianças para execução dos exercícios com capacidades de retorno visual para ajuda e orientação em tempo real, e com um mecanismo de classificação do gesto efectuado. Estas ferramentas de trabalho visam autonomizar professor e alunos e otimizar a produtividade de ambos. As duas ferramentas foram submetidas a uma avaliação inicial, cujos resultados parecem confirmar as premissas que fundamentaram este trabalho.

Palavras-chave: Escrita, Ensino, Aprendizagem, Caligrafia, Crianças, Gestos

Abstract

Teaching and learning how to write are two complimentary, time consuming and evolving processes, that traditionally require deep commitment from both teacher and pupils. A teacher is required to show how to correctly execute calligraphic movements. Pupils are expected to perform the required movement repetitions, necessary to perfect their motor coordination skills.

During this process, it is common for the teacher to physically orient the pupil, demonstrating how to perform the correct movements' sequence. The pupil, on the other hand, will require feedback from the teacher, in order to perceive if he is doing his tasks correctly or not. If the pupil exhibits difficulties, the teacher is required to provide closer assistance in order to help him overcome those problems.

Taking into account this strong reliance on each other that both involved parties on the learning how to write process exhibit, this work strives to achieve a solution that can endow them with some required autonomy. Such solution would result in less average time required to accompany each individual pupil, allowing the teacher to concentrate on those pupils that show greatest difficulties.

To this end, a tablet PC based platform was designed, supporting the development of two prototype tools. One tool helps teachers define calligraphy exercises and provides means for the visualization of the resolutions submitted by the pupils. The other tool offers pupils the features required to perform the exercises. This tool incorporates real time guidance and feedback mechanisms, as well as a grading algorithm. Both tools were subjected to an initial assessment. Results so far support the hypotheses that such tools can contribute to an increased autonomy and productivity of teachers and pupils.

Keywords: Writing, Teaching, Learning, Calligraphy, Children, Gestures

Conteúdo

Lista de Figuras	xvi
Lista de Tabelas	xix
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objectivos	3
1.3 Contribuições	4
1.4 Estrutura do documento	5
2 Trabalho relacionado	7
2.1 Ensino da escrita gráfica	7
2.2 Desenho de aplicações para crianças	10
2.3 Tecnologia de suporte ao ensino da escrita	12
2.4 Resumo	14
3 A Visão da Solução	15
3.1 Descrição do processo de ensino e aprendizagem da caligrafia	15
3.2 Dimensões de análise	17
3.3 Análise e definição de processos	19
3.3.1 Criação de exercícios	20
3.3.2 Execução de exercícios	22
3.3.3 Visualização e validação da execução de exercícios	23
3.4 Resumo	24
4 Desenho da solução	27
4.1 Arquitectura IWA	28
4.2 Repositório de dados	29
4.3 Plataforma IWA	34
4.3.1 Biblioteca de gestão de ficheiros XML e manifestos	34
4.3.2 Biblioteca de gestão de estruturas lógicas	34
4.3.3 Biblioteca de algoritmos, funções e transformações matemáticas	35

4.3.4	Biblioteca de controlos multimédia	38
4.4	Resumo	41
5	Protótipos IWA	43
5.1	Protótipo do professor	43
5.1.1	Criação de exercícios	44
5.1.2	Visualização e validação da execução de exercícios	48
5.2	Protótipo do aluno	49
5.2.1	Execução de exercícios	50
5.3	Resumo	52
6	Resultados	53
6.1	Avaliação do protótipo do professor	53
6.2	Avaliação do protótipo do aluno	55
6.2.1	Entrevista inicial com a professora	55
6.2.2	Sessões de avaliação com crianças	56
6.2.3	Entrevista final com a professora	66
6.3	Resumo	68
7	Conclusão	69
7.1	Trabalho futuro	70
	Bibliografia	75

Lista de Figuras

2.1	Exemplos da aplicação de grafismos em padrões decorativos.	9
3.1	Diagrama de actividades para o cenário de ensino e aprendizagem tradicional.	16
3.2	Dimensões que influenciam uma proposta de solução neste contexto temático: ensino/aprendizagem da caligrafia.	17
3.3	Hierarquia de conceitos.	20
3.4	Diagrama de actividade para a definição de um conjunto de exercícios pelo professor.	22
3.5	Diagrama de actividade para a execução de um conjunto de exercícios pelo aluno.	23
3.6	Diagrama de actividade para a visualização e análise pelo professor de um conjunto de execuções de exercícios realizadas pelo aluno.	24
4.1	Dimensões que influenciam a plataforma IWA.	27
4.2	Arquitectura da plataforma IWA.	28
4.3	Diagrama de classes do repositório de dados.	30
4.4	Diagrama de classes das estruturas de dados.	35
4.5	Gesto associado à letra t minúscula.	36
4.6	Exemplificação do mecanismo auxílio relativo ao ponto de ataque da escrita e ao sentido do movimento esperado.	40
4.7	Exemplificação do mecanismo de retorno relativo ao ajuste da cor e da espessura do traço desenhado pela criança.	40
5.1	Ecrã de definição de Modelos, na ferramenta do professor.	44
5.2	Interface de caracterização de Modelos, na ferramenta do professor: No topo encontra-se a interface para caracterização de Letras Maiúsculas e Minúsculas; Em baixo, a interface de catalogação de Algarismos e de Gestos Livres com a possibilidade de definir um identificador único para estes últimos.	45
5.3	Ecrã de definição de Desafios na ferramenta do professor.	46
5.4	Ecrã de definição de Unidades de Aprendizagem na ferramenta do professor.	48
5.5	Ecrã de visualização da realização de exercícios na ferramenta do professor.	49

5.6	Interface do aluno.	50
5.7	Ecrã com exemplificação de recompensa.	52
6.1	Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do primeiro participante no teste.	59
6.2	Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do primeiro participante no teste.	59
6.3	Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do segundo participante no teste.	60
6.4	Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do segundo participante no teste.	61
6.5	Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do terceiro participante no teste.	61
6.6	Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do terceiro participante no teste.	62
6.7	Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do quarto participante no teste.	63
6.8	Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do quarto participante no teste.	63
6.9	Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do quinto participante no teste.	64
6.10	Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do quinto participante no teste.	64
6.11	Execuções observadas para a letra "e".	67
6.12	Evolução das classificações para as execuções observadas para a letra "e".	67

Lista de Tabelas

- 6.1 Tabela de indicadores percentuais comparativa das duas rondas efectuadas nas sessões de testes. 65
- 6.2 Tabela de resultados das duas rondas executadas nas sessões de testes. . . 65

Capítulo 1

Introdução

Esta dissertação, sob o título Aprendizagem da Escrita Interactiva, aborda a temática do processo de aprendizagem da escrita gráfica em crianças em idade pré-escolar e escolar. Este processo, embora centrado na população infantil, compreende também a população de instrutores primários, cuja acção de ensino é indissociável da vertente de aprendizagem.

O trabalho aqui apresentado pretende fornecer um modelo inovador e independente de ensino/aprendizagem da caligrafia providenciando simultaneamente uma forma de apresentação adequada e atractiva de conteúdos a leccionar, mecanismos de motivação e de acompanhamento proactivo da criança durante a execução das tarefas de aperfeiçoamento das capacidades de coordenação cognitiva e mecânica intrínsecas ao processo da escrita.

A motivação encontrada para o desenvolvimento deste projecto descrita na secção 1.1, contextualiza os principais problemas e desafios associados ao paradigma de ensino/aprendizagem da escrita gráfica. Desta breve introdução à temática abordada deriva um conjunto de objectivos que se encontra sistematizado na secção 1.2, constituindo-se a missão deste estudo. A secção 1.3 enuncia as variadas contribuições extraídas do trabalho apresentado. Finalmente, a última secção 1.4 apresenta a estrutura desta dissertação.

1.1 Motivação

A escrita é considerada uma das principais formas de expressar conhecimento e portanto, a par da aprendizagem da leitura, aprender a escrever faz parte dos programas iniciais de escolaridade de todos os países. A aprendizagem da escrita é um processo bastante moroso e complexo que compreende o desenvolvimento e a sincronização de capacidades cognitivas e mecânicas [12]. Em todas as fases deste processo é necessário contar sempre com a participação de 2 actores principais: o professor e o aluno. Dado que a escolaridade é iniciada desde a infância, a população de alunos é maioritariamente constituída por crianças com idades compreendidas entre os 4 e os 7 anos. Tipicamente, o estilo de aprendizagem, na maioria dos países, é efectuado seguindo um modelo em grupo, isto é:

o professor lecciona a um conjunto de crianças da mesma faixa etária denominado classe ou turma.

Na fase inicial do processo de aprendizagem da escrita, o objectivo principal é familiarizar o aluno com os instrumentos de auxílio à escrita. O professor é quem fornece a base do conhecimento de como efectuar as acções mais básicas e essenciais para o começo desta aprendizagem. É ele quem ensina a forma de segurar e de manipular correctamente o lápis e quem indica a posição certa do papel e a postura que o aluno deve manter. Seguidamente, dá-se a fase de introdução à coordenação cognitiva e motora, fase particularmente difícil dado que os gestos e movimentos da escrita são pequenos e precisos - motricidade fina, envolvendo inúmeras articulações, músculos e terminações nervosas. Ao professor, cabe a tarefa de exemplificar à criança como deve realizar um determinado movimento, que no princípio deverá ser uma linha ou um conjunto de formas educativas simples. Nesta etapa, é procedimento comum o professor segurar na mão directiva da criança e repetir, vez após vez, o mesmo gesto até que esta consiga, de modo autónomo, reproduzir o movimento. A participação física do professor é aqui exigida de modo a fornecer todo o apoio que o aluno necessita para efectuar os seus primeiros movimentos da escrita [6]. Na fase seguinte, o objectivo passa a ser o aperfeiçoamento da caligrafia. Aqui, o actor principal é o aluno uma vez que se requer dele a repetição continuada dos mesmos movimentos exigindo assim grande dispêndio de tempo. O professor apenas valida e avalia os grafismos do aluno e fornece instruções e correcções que lhe permitam continuar o seu progresso a aprender a escrever.

Este processo de ensino e de aprendizagem terá de ser efectuado a todos e por todos os alunos, sendo necessário da parte do professor um elevado esforço de acompanhamento.

A inquietação e a impulsividade tão características e específicas à idade da população alvo desta aprendizagem condicionam fortemente as suas capacidades cognitivas como a atenção e o interesse, fundamentais para o desenvolvimento deste tipo de aptidões. Deste modo, esta população representa vários desafios adicionais para o professor: como controlar a energia, impulsividade e inquietação próprias à idade das crianças, e como captar o interesse e a atenção de cada indivíduo, motivando-o a melhorar continuamente o seu desempenho.

De tudo o atrás exposto, torna-se claro que aprender a escrever é um processo difícil e longo que envolve profunda interacção entre professores e alunos. Encontrar uma alternativa ao processo tradicional de aprendizagem da escrita, que permita dotar tanto professores quanto alunos de alguma autonomia e aumentar a produtividade de ambos, é o objectivo principal do trabalho que fundamenta esta dissertação.

A autonomização destes dois actores reflecte-se directamente numa redução significativa dos tempos das tarefas de acompanhamento prolongado individual de cada criança, libertando o professor para que este possa desenvolver um trabalho mais especializado junto dos alunos que revelem maiores dificuldades na aprendizagem da escrita. Assim,

o conjunto das crianças na mesma turma poderá evoluir mais rapidamente para novos conteúdos didácticos.

Outro benefício imediato consiste em tornar as crianças semi-independentes neste processo de aperfeiçoamento, permitindo-lhes executar continuamente os exercícios sem necessitarem que o professor lhes indique o seu nível de desempenho e lhes forneça instruções.

Algumas propostas de sistemas nesta área visam principalmente a autonomização da criança e a redução de falhas que esta possa cometer durante a repetição dos movimentos cinestésicos. Contudo, estes sistemas, não abordam a problemática do ponto de vista do professor, centrando-se somente na criança.

Uma forma de responder às necessidades apontadas, passa por oferecer uma nova solução interactiva, baseada nos métodos do ensino da escrita tradicionais, que favoreça o aperfeiçoamento da sincronização entre as componentes cognitiva e motora associadas à aprendizagem da escrita. Esta proposta para otimizar o processo de ensino e aprendizagem da escrita direccionada para professores e crianças em idade pré-escolar e escolar, deve socorrer-se de dispositivos tácteis modernos que, por se assemelharem aos usuais meios de aprendizagem, minimizem o esforço de adaptação da criança a eles e proporcionem uma experiência interactiva rica e motivadora.

1.2 Objectivos

A principal missão deste trabalho é fornecer um conjunto de ferramentas computacionais que sirvam tanto a população de professores como a população de alunos otimizando o processo de ensino e aprendizagem da escrita à mão. O uso de dispositivos modernos e da mais recente tecnologia táctil constituiu-se parte fundamental para cumprir o principal objectivo deste projecto, tirando assim partido dos benefícios oferecidos pelo formato digital.

O cumprimento desta missão depende da abordagem realizada a cada um dos seguintes objectivos parcelares:

- Desenvolver ferramentas de trabalho para os professores e para os alunos facilmente compreensíveis por estes dois grupos de utilizadores. Este objectivo é particularmente interessante para a população dos alunos que, por serem iletrados, exigem uma ferramenta simples e baseada em componentes gráficos e sonoros adequados.
- Explorar as potencialidades das capacidades oferecidas pelos tablet PC. Estes dispositivos proporcionam uma interacção muito semelhante à interacção tradicional com a folha de papel e com a caneta no que diz respeito à escrita caligráfica, daí terem sido eleitos para este trabalho.

- Envolver tanto professores quanto alunos durante o processo de desenvolvimento das ferramentas, de modo a garantir que é respeitada uma metodologia de desenvolvimento centrada no utilizador.
- Dotar a ferramenta do professor de grande flexibilidade, permitindo-lhe liberdade para a definição dos exercícios. Este objectivo está relacionado com a necessidade de a ferramenta não estar condicionada a uma metodologia única de ensino, permitindo ao professor aplicar a que considere mais adequada. Por outro lado, facilita a construção de exercícios definidos especificamente para superar determinadas limitações identificadas no desempenho das crianças.
- Permitir a reutilização de exercícios na ferramenta do professor. Esta questão é fundamental para optimizar o tempo e o esforço necessário do professor permitindo-lhe estar mais disponível para acompanhar o desenvolvimento global dos seus alunos.
- Integrar mecanismos e conceitos de interacção que motivem e auxiliem a criança para a resolução de exercícios. Estes mecanismos associados à ferramenta dos alunos têm de, por um lado conseguir motivar a criança a continuar a executar os exercícios, e por outro, fornecer-lhe a ajuda necessária para que esta possa, sem o apoio directo do professor, melhorar as suas capacidades. São conceitos determinantes para proporcionar uma experiência enriquecedora de aprendizagem da caligrafia.

1.3 Contribuições

As contribuições do trabalho apresentado nesta dissertação subdividem-se em três grupos:

- Contribuições metodológicas: uma lógica inovadora de definição e de parametrização de exercícios pelo professor, dois mecanismos de ajuda e orientação à criança em tempo real durante a execução dos exercícios, um algoritmo de avaliação do desempenho da criança baseado em diversas métricas controláveis pelo professor quando da criação dos exercícios e, finalmente, um mecanismo de feedback com recompensa multimédia e em tempo real à criança após a execução das tarefas de finidas.
- Contribuições de software: a implementação de uma plataforma única, partilhada por duas ferramentas protótipo desenvolvidas no âmbito deste trabalho. Esta plataforma, denominada IWA - Improving Writing Ability, integra diversos componentes de software do tipo bibliotecas de software, desenvolvidas especificamente para estabelecer bases de integração de dados entre os dois protótipos, e para efectuar transformações matemáticas sobre os conceitos introduzidos, e controlos multimédia desenvolvidos especificamente para adoptarem comportamentos proactivos e

reactivos face à execução de exercícios. Os protótipos desenvolvidos com base nesta plataforma são:

- Uma ferramenta dedicada ao professor para definição e parametrização de exercícios com um módulo específico à visualização de execuções de exercícios;
 - Uma interface de apresentação de exercícios e de execução de tarefas para a criança;
- Publicações:

Joana Pereira, Luís Carriço, e Carlos Duarte. Improving children's writing ability. In J. A. Jacko, editor, Human-Computer Interaction. Interacting in Various Application Domains. 13th International Conference, HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009, Proceedings, Part IV, pages 186-195. Springer Berlin Heidelberg, 2009.

Este artigo descreve os conceitos em que assenta a plataforma IWA bem como os resultados de uma avaliação preliminar efectuada sobre as ferramentas desenvolvidas.

1.4 Estrutura do documento

Esta dissertação está organizada em seis capítulos distintos. O primeiro capítulo apresenta um enquadramento conceptual do trabalho, isto é, a motivação, os objectivos e as contribuições extraídas dele. O capítulo dois apresenta o trabalho relacionado focando-se nos seguintes aspectos: o ensino da escrita gráfica tradicional, um conjunto de orientações para desenhar interfaces para crianças e a tecnologia existente que procura assistir este processo. Nos capítulos três e quatro caracteriza-se de um modo mais detalhado o espaço do problema, conduzindo a uma proposta de solução que envolve uma plataforma computacional utilizada para sustentar ferramentas quer para o professor quer para o aluno. O quinto capítulo centra-se na apresentação de dois protótipos desenvolvidos com base na arquitectura proposta. Segue-se o sexto capítulo com a avaliação das duas ferramentas e uma análise dos resultados obtidos. Finalmente, no capítulo sete são apresentadas as conclusões deste projecto e o trabalho futuro.

Capítulo 2

Trabalho relacionado

A aprendizagem da escrita gráfica é um processo que desde a sua instituição, apesar de ter sofrido ao longo do tempo alguns ajustes e melhorias, tem-se mantido muito estável e fiel às premissas em que assenta: o professor fornece instruções e os alunos executam tarefas de repetição, com e sem apoio directo do tutor que lhes transmite a indicação se o seu desempenho está a evoluir positivamente ou não. Esta temática de ensino/aprendizagem da escrita gráfica é abordada em maior detalhe na secção 2.1.

No entanto, nos últimos anos, surgiram algumas propostas com uso de sistemas computacionais com o objectivo de melhorar o aproveitamento dos alunos. Na secção 2.3, são apresentados alguns destes sistemas.

Uma vez que a aprendizagem da escrita é principalmente direccionada a uma população jovem e iletrada, na secção 2.2, expõem-se algumas orientações para desenho de aplicações para crianças.

2.1 Ensino da escrita gráfica

A caligrafia, para além do desenho da letra, compreende ainda as convenções básicas a respeito do arranjo gráfico a que devem ser sujeitos os textos (convenções tipográficas) [17]. Estas convenções têm o objectivo de garantir a nitidez no desenho das letras, na disposição das palavras, das frases e dos parágrafos, a coesão gráfica dos textos, com destaques de títulos e outros elementos. Estes objectivos contribuem significativamente para a clareza na escrita e para a obtenção de informações adicionais na leitura.

Quando as crianças iniciam a sua escolaridade, muitas delas já possuem algumas capacidades de escrita. Contudo, estes conhecimentos são muitas vezes inconsistentes e compreendem também alguns vícios posturais e gráficos incorrectos. A correcção deste tipo de problemas pode eventualmente ser geradora de um esforço acrescido por parte do professor e da criança.

No que diz respeito ao ensino destacam-se duas teorias principais: a sintética e analítica e o construtivismo. A primeira é a mais comumente aplicada e baseia-se na ex-

posição do conhecimento directamente pelo professor. As crianças, posteriormente e sob a direcção do professor, executam as tarefas definidas por ele. Por outro lado, o construtivismo é reconhecido como um processo activo no qual a estratégia de aprender com a experiência leva o aluno a manipular mentalmente o novo material de aprendizagem para criar ligações com conhecimento anterior [1]. Nesta perspectiva é necessário motivar continuamente o aluno para que este se responsabilize pela sua evolução consciencializando-se progressivamente do seu próprio conhecimento.

A ordem de aquisição das competências gráficas deve ser ponderada em função de vários factores e pode não fazer sentido seguir a ordem do alfabeto para esta aprendizagem. Actualmente, é comum o ensino da escrita ser concomitante com o ensino da leitura. No entanto, algumas das letras que idealmente podem constituir-se como as primeiras a aprender na leitura, são significativamente difíceis de grafar, pelo que propor uma ordem que respeite facilidades de aquisição da leitura e de caligrafia em simultâneo é uma das questões mais controversas na iniciação à leitura e à escrita. Outros factores como a consciência fonémica, o número de valores fonéticos associados a cada letra, a frequência de ocorrência de fonemas e de grafemas em palavras ditas ou grafadas no universo a que as crianças acedem, e a dificuldade na sua grafia, devem ser analisados pelo professor a fim de determinar a ordem do seu ensino.

A aprendizagem da escrita pressupõe sempre a aprendizagem de um alfabeto dual: o maiúsculo e o minúsculo, que na forma de letra manuscrita apresentam poucas semelhanças no par.

Nas letras manuscritas podem ser encontrados, para cada grafema, alguns elementos básicos da sua estrutura. Estes elementos são compostos por cinco formas básicas: laços, taças, argolas, arcos e laçadas das pernas. A automatização de alguns destes elementos pode ser efectuada com recurso à produção de grafismos como arcos ou pontes, círculos, laços, taças, etc. O desenho repetido de uma das formas e a sua combinação com outras formas, posteriormente coloridas, criam padrões interessantes que permitem quebrar a monotonia do exercício conforme mostra a figura 2.1, e que ajudam no desenvolvimento da consciência do conceito de padrão e no treino da precisão, do rigor, da flexibilidade do traço contribuindo para a educação estética da criança. Após a execução destes exercícios gráficos, a criança deve experimentar a produção de letras que envolvam os grafismos que praticou.

Outro aspecto fundamental na aprendizagem da caligrafia está relacionado com a gestão do espaço gráfico que pressupõe o controlo de vários elementos:

- O controlo do espaço propriamente dito, incluindo todo o tipo de espaçamentos e todas as relações de proporcionalidade.
- O eixo horizontal e a orientação da esquerda para a direita.
- O respeito pela linha enquanto elemento estruturador do espaço, mas também en-

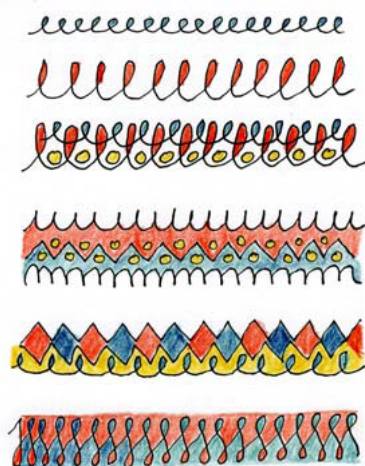


Figura 2.1: Exemplos da aplicação de grafismos em padrões decorativos.

quanto elemento que permite perceber a dimensão da letra, o ponto onde esta cruza a linha, etc.

- A inclinação da letra, sendo que actualmente privilegia-se a inclinação a 90°, ou seja, a verticalidade.
- A dimensão da letra.

Para que a distribuição dos grafemas na linha e na página respeite estes factores, o aluno precisa de ter uma imagem mental da sequência gráfica a realizar para que a actividade da escrita se desenrole sem hesitações. Cada uma das letras deverá servir de referencial de proporcionalidade para cada uma das outras. Deve ainda ser explicitamente demonstrado à criança, e esta deve tomar consciência do tamanho relativo de cada letra, da parte da letra que se situa abaixo da linha e da parte que se situa acima da linha, do tamanho relativo das letras sem haste ao lado das letras com haste, do tamanho relativo das maiúsculas e das minúsculas, etc. Estas são actividades de gestão do espaço gráfico numa dimensão activa, uma vez que a criança se apropria do espaço e das suas regularidades através de medidas do próprio corpo. O princípio de irmandade que os elementos de um determinado tipo partilham na tipografia, deve ser também visível na caligrafia. Assim a criança terá de reconhecer que não é correcto misturar maiúsculas e minúsculas sem motivos aparente, caligrafia gótica com moderna, letra inclinada com letra direita.

A aprendizagem da caligrafia é sempre um processo evolutivo e como tal, compreende diferentes etapas e diferentes níveis de aperfeiçoamento.

Do acima exposto, é claro que uma aplicação computacional que pretenda auxiliar o processo de ensino e aprendizagem da escrita tem de responder adequadamente aos seguintes requisitos:

- O professor tem de ter liberdade total para definir exercícios, de acordo com a metodologia que este entenda ser a mais adequada ao desenvolvimento de cada criança:
 - O professor define o conjunto de grafemas que considera serem necessários à introdução de letras.
 - A ordenação para a aprendizagem das várias letras é da responsabilidade integral do professor, garantindo que este pode efectuar ajustes à mesma sempre que necessário.
 - Os grafemas definidos devem poder ser reutilizados a fim de reduzir esforço do professor.
 - O professor tem de validar o desempenho dos alunos.
- A criança-aluno tem de:
 - Perceber claramente o que deve executar.
 - Adquirir as noções de gestão do espaço gráfico.
 - Executar os exercícios.
 - Obter validação do seu desempenho.
 - Desenvolver a sua motricidade fina.

2.2 Desenho de aplicações para crianças

Alguns estudos [15] indicam que o uso da tecnologia pode ajudar as crianças a desenvolverem as suas capacidades de leitura e aumentarem o seu conhecimento. Sistemas que façam uso da tecnologia associando-a a conteúdos que gerem interesse nas crianças, como jogos, animações, etc., têm grande potencial nesta área, desde que sejam correctamente concebidos. Dado que o seu público alvo tende a ser um dos mais complexos, foram definidas algumas orientações [10, 15, 22] para auxiliar a concepção de sistemas interactivos.

Um desses estudos incide sobre a temática da capacidade de um sistema ou aplicação, conseguir ou não cativar a atenção de crianças [15]. De facto, o sucesso de uma aplicação de treino depende directamente da motivação e atitude do utilizador [1]. Como principais factores de captação de atenção de crianças, a autora indica as interfaces com interacções ricas e as que incluem retorno adequado. Para além dos factores apontados, as actividades a executar com recurso a um sistema computacional devem ainda ser interessantes, possuir complexidade incremental de forma a manterem-se cognitivamente estimulantes e, finalmente, devem incluir estruturas de recompensa adequadas. Contudo estas interfaces terão de ser desenhadas tendo em atenção algumas questões que podem condicionar o sucesso do sistema. As principais questões a ter em conta são:

- Permitir à criança ter algum controlo sobre o sistema, concedendo-lhe a possibilidade de tomar decisões que condicionam o rumo da sua experiência.
- Exibir retorno imediato das acções executadas pela criança de modo a garantir uma comunicação efectiva entre ela e o sistema [11].
- Estabelecer desde o início da experiência objectivos bem claros [11], não deixando espaço para a criança ter dúvidas acerca do que se pretende dela.
- Evitar distrações e factores que interrompam a experiência educativa [11].

Outras orientações de desenho de interfaces são ainda determinantes para o sucesso de uma qualquer aplicação [18] destinada a oferecer uma experiência agradável e saudável. Entre elas, destacam-se as seguintes:

- Dotar o sistema de grande consistência para que a aprendizagem associada à interacção seja linear e sem grande variedade de excepções.
- Permitir o uso de atalhos para execução de tarefas repetitivas para utilizadores frequentes.
- Oferecer retorno informativo correcto em todas as circunstâncias.
- Desenvolver a prevenção de erros e uma gestão de erros adequada e simples.
- Permitir facilmente reverter acções conduzindo a estados imediatamente anteriores da experiência interactiva.

Outro estudo [14] indica que as crianças pretendem que as interfaces dos sistemas que utilizam exibam as seguintes características:

- As interfaces devem respeitar as crianças e proporcionar-lhes experiências multi-sensoriais [5].
- As instruções necessárias para a correcta utilização do sistema devem ser de simples compreensão e fáceis de recordar [7].
- As interfaces devem fazer uso de ícones visuais intuitivos e animados de modo a transmitirem mais informação do que uma imagem estática [2, 19].

Outras preocupações relacionadas com a infraestrutura física utilizada foram ainda alvo de alguns estudos, tais como as associadas ao tamanho das canetas e ao efeito de oclusão causado pela postura do utilizador quando da utilização da caneta na execução de tarefas. Neste sentido, foi desenvolvido um modelo geométrico [20] de cálculo da área de oclusão que pode adjuvar no desenho de interfaces e assim minimizar situações em que os conteúdos possam ficar escondidos pela postura do utilizador e/ou da caneta.

2.3 Tecnologia de suporte ao ensino da escrita

Ao longo do tempo, têm sido envidados esforços no sentido de melhorar as condições do ensino. No entanto, a maioria deles é efectuada ao nível da construção de novas infra-estruturas físicas, da disponibilização e generalização da Internet como instrumento de consulta e ensino, e do desenvolvimento de sistemas computacionais de aprendizagem multimédia, deixando de parte o investimento em ferramentas específicas de apoio ao ensino/aprendizagem em ambiente de sala de aula [21].

Nos últimos tempos, tem-se verificado uma tendência de investimento no sentido de providenciar novos meios de apoio à aprendizagem da escrita gráfica, fornecendo assim sustentação a alunos. Relativamente à temática da aprendizagem da escrita, alguns dos sistemas que têm emergido fazem uso das mais recentes tecnologias para propor novos paradigmas de suporte a esta aprendizagem. Os dispositivos tácteis e os dispositivos com capacidades de retorno táctil são os mais utilizados para assistir este tipo de sistemas.

Os dispositivos tecnológicos tácteis, cada vez mais utilizados face à progressiva redução de custos de aquisição dos mesmos, apresentam características de interacção muito interessantes e, quando aliados à portabilidade, favorecem a mobilidade do utilizador. Intimamente associada a este tipo de dispositivos, a tecnologia de reconhecimento de gestos tem evoluído bastante na tentativa de fornecer novas formas de interacção com sistemas computacionais. Estas técnicas de reconhecimento de gestos são exploradas, basicamente, para interpretar a informação transmitida pelo utilizador ao sistema.

O apoio físico directo, em substituição do professor, à criança quando da aprendizagem da escrita é o objectivo principal do sistema Telemaque [12]. Este sistema faz uso de um dispositivo mecânico, semelhante a um braço ergonómico com uma caneta na extremidade, com capacidades de retorno táctil. Para que o sistema funcione adequadamente, será necessário que este seja configurado e parametrizado por um professor de modo a que o sistema possa guiar correctamente a criança na sua tarefa de iniciação à escrita caligráfica. Para cada letra, o sistema reconhece dois conceitos distintos: o gesto exacto e uma fronteira do mesmo, na qual o sistema permite liberdade de movimentação. Basicamente, face a um gesto modelo definido pelo professor, o sistema inibirá determinados movimentos da criança impedindo assim que esta adopte comportamentos incorrectos, como por exemplo, a incorrecta sequência de movimentos ou a execução dos movimentos em direcções diferentes das do modelo. Os seus autores indicam que o Telemaque apresenta resultados positivos mesmo forçando as crianças que participaram na sua avaliação a adoptar uma estratégia reactiva no controlo dos movimentos[12]. Apesar dos benefícios apontados, este sistema de retorno táctil limita os movimentos da criança a uma área específica na fronteira da letra a ser desenhada, acompanhando e direccionando o movimento efectuado. Poderá ser interessante numa fase muito inicial, correspondente aquela em que o professor segura a mão da criança, mas nas fases subsequentes, normalmente mais extensas, limita a sua independência, agora em relação ao sistema, abalando

potencialmente a sua confiança para executar as tarefas autonomamente.

Outro sistema que se apoia em mecanismos físicos semelhantes aos do Telemaque é o descrito por Kim et al. [9]. Este sistema, cujo objectivo é assistir crianças com dificuldades de aprendizagem da escrita causadas por problemas de défices de motricidade ou de atenção, assenta em quatro pressupostos: a utilização de primitivas, uma interface amigável para professores, terapeutas, crianças e pais, funcionalidades de retorno táctil ajustáveis e, finalmente, relatórios quantitativos com informação de desempenho. Uma vez que se socorre de um braço mecânico com capacidades de retorno táctil, os gestos a executar pelas crianças são definidos no espaço com 3 dimensões. A grande diferença desde sistema consiste no tipo de letras produzidas, sendo este denominado por letra de imprensa. Estas letras são desenhadas com recurso a três primitivas geométricas: segmentos de recta, arcos de círculos e elipses. Os segmentos de recta e os arcos são usados para a definição das letras, enquanto que as elipses correspondem ao movimento de deslocação da caneta para outro ponto da área de trabalho sem escrever. Os testes efectuados sobre o sistema revelaram que algumas das crianças melhoraram significativamente a precisão da escrita das letras treinadas e que todas elas referiram que o braço mecânico lhes limitava os seus movimentos naturais de escrita. Contudo, os autores reconhecem que os resultados obtidos não são estatisticamente relevantes, prometendo uma futura publicação com novos testes de validação do sistema.

Com o objectivo de ajudar adultos a aperfeiçoar as suas capacidades caligráficas, têm sido desenvolvidos sistemas, sobretudo para a aprendizagem de um segundo idioma. I-TOUCH [6] é um exemplo de um sistema deste tipo que foi concebido para auxiliar a aprendizagem de caracteres japoneses. Este sistema faz uso de dispositivos tácteis com caneta e possui capacidades específicas no que diz respeito à apresentação de conteúdos multimédia que facilitam a compreensão das instruções para a escrita de um carácter. As funcionalidades de apresentação de conteúdos multimédia consistem na visualização da execução do carácter acompanhadas de instruções de voz com a descrição do movimento. Para além destas funcionalidades, o I-TOUCH possui ainda a capacidade de reproduzir a pronunciação do fonema do grafema, o que se torna particularmente importante na aprendizagem de idiomas estrangeiros. Quando avaliado [6], o sistema mostrou que as pessoas que o usaram na aprendizagem de alguns caracteres japoneses melhoraram significativamente o seu desempenho comparativamente ao grupo de controlo cuja aprendizagem seguiu os padrões normais de uma aula tradicional apenas com o professor. Contudo, a validação e o processo de classificação dos desempenhos das pessoas, permanece completamente dependente da figura do professor.

2.4 Resumo

O tradicional processo de ensino e de aprendizagem da escrita gráfica apesar de ser bastante estável, apresenta algumas características que beneficiariam de alguma optimização. O facto de as crianças necessitarem sempre de uma validação do seu desempenho, para assim continuarem a evoluir positivamente, e de que apenas o professor, que numa sala de aula tem de prestar apoio a várias crianças em simultâneo, pode fornecer essa informação pode originar algumas quebras indesejáveis. Por outro lado, cada professor tem o seu método de ensino e, face ao desenvolvimento individual de cada aluno, tem liberdade para conceber novos exercícios para assim eliminar eventuais pontos fracos detectados a partir da sua avaliação.

Uma proposta de sistema computacional que vise optimizar este processo, tirando partido das vantagens oferecidas pelos dispositivos tácteis portáteis e pelas recentes técnicas de reconhecimento de gestos, deverá responder às questões mais importantes identificadas tanto para professores quanto para alunos. No entanto, dado que uma das populações não sabe ler, o desenho das interfaces gráficas dos sistemas é parte crítica para o sucesso do sistema, e representa um desafio interessante devendo seguir algumas normas e orientações que facilitem a utilização correcta do sistema.

Algumas propostas têm sido elaboradas, ao longo do tempo, com o objectivo de tornar os alunos independentes do professor optimizando as suas capacidades de escrita à mão. Na sua maioria, recorrem a braços mecânicos programados que limitam os movimentos naturais da criança. Uma outra utiliza dispositivos tácteis, tablet PC, e apesar de permitir o aperfeiçoamento da escrita gráfica, não fornece um retorno de desempenho ao utilizador. Contudo, estas propostas visam apenas a melhoria do desempenho dos seus utilizadores, muitas vezes pela redução de erros forçada, que em última instância tem de ser sempre avaliado pelo professor. Deste modo, não conseguem autonomizar nem o professor nem o aluno.

Capítulo 3

A Visão da Solução

O processo de ensino e aprendizagem da caligrafia usualmente aplicado nos estabelecimentos de ensino baseia-se nos métodos sintéticos e analíticos que correspondem ao ensino mediante a exposição feita pelo professor com a intenção de transmitir conhecimentos aos seus alunos [4]. Contudo, diversos pontos geradores de entropia causam interrupções no fluxo normal de aprendizagem e constituem oportunidades para a introdução de soluções de base tecnológica.

Na primeira secção deste capítulo, o processo é descrito em maior detalhe, expondo a problemática subjacente ao mesmo. Na secção 3.2 sistematizam-se as várias dimensões de análise e um conjunto de premissas e conceitos que devem ser considerados no desenvolvimento de ferramentas de suporte. A visão da solução apresentada nesta tese é enunciada na secção 3.3, distinguindo os três fluxos principais de actividades: criação de exercícios, execução de exercícios e avaliação/visualização das execuções dos exercícios. O capítulo termina numa secção de sumário dos temas abordados.

3.1 Descrição do processo de ensino e aprendizagem da caligrafia

Tradicionalmente, o processo de ensino e aprendizagem da escrita mantém as duas populações de professores e de alunos muito dependentes uma da outra, exigindo um elevado esforço, dedicação e consumo de tempo de ambas. Por um lado, o professor tem de fornecer os conteúdos programáticos, ou seja os exercícios, e as instruções para realização dos mesmos. Por outro lado, as crianças executam os exercícios definidos pelo professor. Esta tarefa, por si só, já é extremamente morosa uma vez que se tratando da fase inicial do ensino da escrita que assenta na premissa do desenvolvimento de capacidades de coordenação motora para tarefas tão minuciosas e precisas como a caligrafia, é natural que estas estejam ainda muito pouco desenvolvidas. Dado que as técnicas de escrita obedecem a padrões de movimentos bem definidos para cada grafema, nesta fase de aprendizagem o aluno não é autónomo para validar o seu desempenho. Por este motivo, ao comple-

tar os exercícios, o aluno necessita de obter uma classificação de aprovação ou não do seu desempenho, para que assim possa continuar a melhorar as suas habilidades ou, em contrapartida, corrigir comportamentos menos correctos. Apenas o professor numa sala de aula é capacitado para fornecer essa informação e para, no caso de este detectar incorrecções, fornecer novas instruções e a motivação necessária para a criança retomar o exercício. Em cada iteração de execução de exercícios, o professor terá de fornecer novo contributo de validação de forma a fechar este ciclo de aprendizagem.

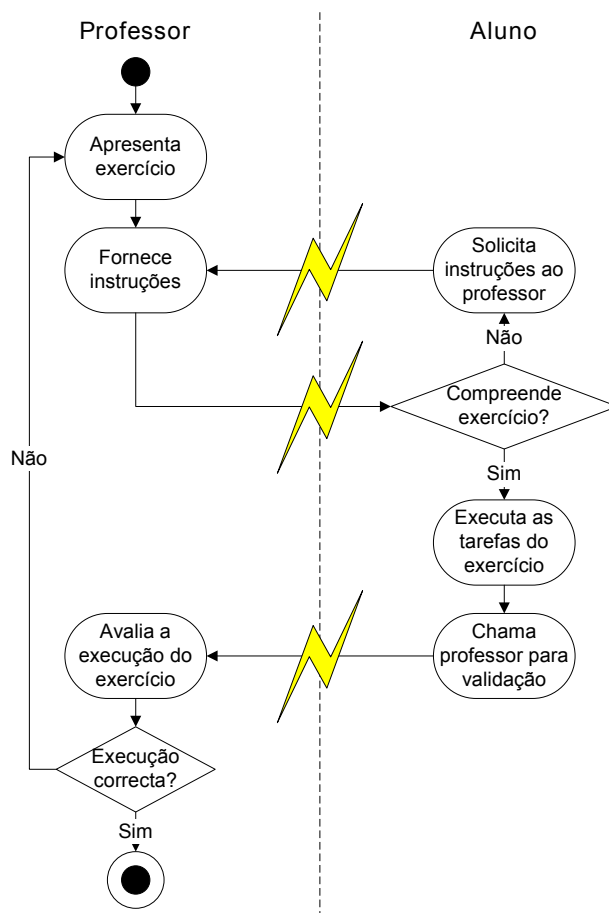


Figura 3.1: Diagrama de actividades para o cenário de ensino e aprendizagem tradicional.

A figura 3.1 apresenta um diagrama de actividades UML aumentado com notação de modelação contextual para representar, de um modo esquemático, este cenário de aprendizagem tradicional para um aluno. Nela são identificados os pontos de quebra que podem ocorrer durante este processo contribuindo para a geração de interferências prejudiciais à melhoria das capacidades de escrita. Estas interferências estão claramente associadas à transição do fluxo de tarefas entre professores e alunos. Num primeiro momento, quando o professor fornece as instruções de execução do exercício, a criança pode necessitar de várias explicações para perceber o objectivo do exercício, solicitando apoio directo do professor nesse sentido. Num segundo momento, quando a criança solicita validação ao professor: uma vez que o treino das capacidades de motricidade fina exige a execução

continuada do mesmo tipo de movimentos, uma única criança deverá recorrer inúmeras vezes ao seu tutor para assim obter uma validação do cumprimento das suas tarefas.

Tendo em conta que um professor é partilhado numa sala de aula por 15 a 20 crianças, o acompanhamento individual que este fornece a cada uma terá de ser muito bem gerido para poder, por um lado, validar as tarefas das crianças que não apresentam dificuldades específicas e, por outro lado, assistir mais proximamente crianças com problemas de aprendizagem da escrita ou com outro tipo de limitações.

3.2 Dimensões de análise

As fases do processo de ensino e aprendizagem da escrita caligráfica são bastante genéricas e aplicam-se aos diferentes métodos de ensino que abordam esta temática. Estes métodos dependem somente do entendimento do professor, e determinam basicamente a ordem pela qual são introduzidas as letras e os algarismos à criança.

Conforme descrito na secção anterior, o método sintético e analítico comumente aplicado no ensino primário apresenta alguns pontos processuais que poderiam beneficiar da utilização de ferramentas computacionais que, se correctamente desenhadas, podem potenciar a autonomização tanto de professores quanto de alunos e melhorar o desempenho das crianças nesta aprendizagem.

Contudo, para suprir algumas destas limitações, é necessário analisar o problema de forma a conciliar as necessidades e especificidades das três dimensões que contribuem para esta temática (figura 3.2): a tecnologia como suporte eficiente ao processo; as crianças como a população alvo principal desta plataforma; e o ensino, personalizado na figura do professor e nos processos de transmissão de conhecimento.

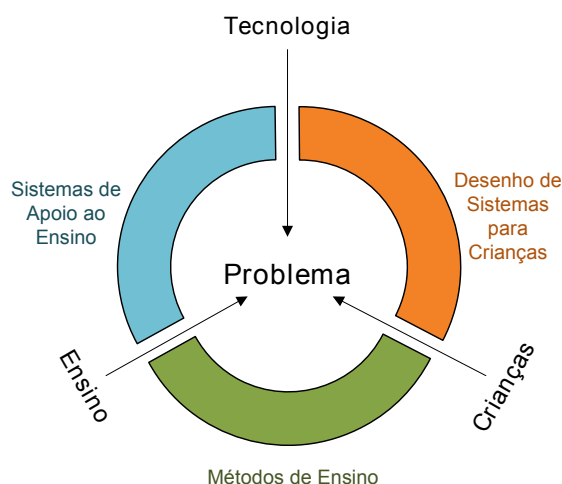


Figura 3.2: Dimensões que influenciam uma proposta de solução neste contexto temático: ensino/aprendizagem da caligrafia.

O desenvolvimento de um conjunto de ferramentas computacionais que visem a me-

lhoria do processo tradicional de ensino/aprendizagem da escrita gráfica, terá obrigatoriamente de responder de modo adequado às necessidades específicas das três dimensões evidenciadas: tecnologia, crianças e ensino. Assim, da análise dessas necessidades e especificidades disciplinares deriva-se um conjunto de características desejáveis em sistemas desta natureza. A lista que se segue descreve as características mais imediatas que se constituem as premissas basilares para o desenvolvimento destes sistemas de apoio e auxílio ao ensino e aprendizagem da escrita caligráfica:

Analogia Uma vez que a aprendizagem da escrita caligráfica tem como principal meio de execução o papel, será necessário procurar componentes tecnológicos que se assemelhem a este meio tradicional. Deste modo, minimizar-se-á o esforço de adaptação da criança quando da mudança de contexto entre a plataforma computacional e a folha de papel, e vice-versa.

Mobilidade Esta característica encontra-se profundamente associada à analogia já que os meios tradicionais são bastante portáteis. As crianças devem poder executar os exercícios na sala de aula, mas também em casa. Por este motivo, será necessário garantir a mobilidade do sistema a propor.

Flexibilidade Uma vez que o tutor não pode estar condicionado a um único modo/método de ensino, a flexibilidade assume aqui um papel de destaque. O professor terá de ser capaz de definir os conteúdos programáticos que considere adequados e a sequência pela qual pretende apresentá-los às crianças a que lecciona. Requer-se que o professor tenha total liberdade neste domínio.

Especificidade Sendo que cada criança na sala de aula tem capacidades diferentes, o professor tem de poder definir exercícios para cada uma de acordo com sua percepção de eventuais problemas que esta reflecta. Estes exercícios específicos têm como objectivo ajudar a melhorar e a ultrapassar dificuldades que cada aluno apresenta. O professor terá de ter a possibilidade de conceber exercícios direccionados especificamente a cada criança e/ou problema identificado.

Modularidade Esta característica fomentará a reutilização de estruturas e conceitos. O impacto directo da modularidade num sistema desta natureza é a redução de esforço do professor na definição de exercícios, que por sua vez, podem ser decompostos em estruturas ou módulos mais elementares, formando assim conceitos hierárquicos.

Autonomização Uma vez que se pretende uma solução que assista crianças no processo de aprendizagem da escrita gráfica, estas, ao executarem os exercícios definidos pelo professor, terão de ser auxiliadas de modo a não necessitarem do apoio tão directo do método tradicional. Assim também, deverá ser-lhe possível auto-corrigir-se durante a execução do exercício de acordo com mecanismos de assistência e prosseguir a sua missão de aprender a escrever.

Simulação A criança deverá poder visualizar uma simulação da execução do exercício pelo professor, para assim tentar repetir o mesmo grafismo, aperfeiçoando as suas características de motricidade. Por outro lado, o professor terá de avaliar o desenvolvimento dos alunos através da visualização da execução da criança. Com esta capacidade, o professor poderá identificar problemas e dificuldades, e assim providenciar um apoio mais específico face às suas conclusões, tirando partido da característica de especificidade.

Atractividade A criança deverá sentir-se cativada a utilizar a ferramenta que a irá assistir no processo de aprendizagem da escrita e motivada para, vez após vez, conseguir alcançar melhores desempenhos. A ferramenta dedicada a esta população terá de possuir uma interface apelativa e simples de modo a proporcionar uma utilização confortável e prazerosa. A simplicidade aqui referida encontra-se associada ao grau de iliteracia da população alvo, que por não saber ler, ainda assim deverá conseguir utilizar correctamente o sistema sem dúvidas acerca do seu funcionamento.

Levando em consideração a natureza do problema que compreende dois nichos de necessidades distintas, a visão para esta problemática distingue duas soluções computacionais, uma para professores e outra para os alunos, que pretendem materializar as características supra citadas.

3.3 Análise e definição de processos

O processo de ensino e aprendizagem da escrita com recurso a duas ferramentas, apesar de dever basear-se no processo tradicional, deverá ainda compreender algumas melhorias, sendo que a principal assenta na autonomização da criança face à sua necessidade de apoio e avaliação do professor.

Inicialmente, o professor, com base na metodologia de ensino que pretenda aplicar, define os exercícios e os objectivos associados aos mesmos. Depois, os alunos executam os exercícios determinados pelo professor, contudo de uma forma independente: durante a execução dos exercícios a criança é auxiliada pela ferramenta de modo a garantir que esta se pode auto-corrigir e assim melhorar a sua grafia; no final, a criança tem de tomar consciência se o seu desempenho foi satisfatório ou não, através de uma classificação automática atribuída pelo sistema. Nesta fase, já não é necessária a intervenção directa do professor junto da criança para avaliar e corrigir os seus comportamentos. Finalmente, o professor tem a possibilidade de rever os exercícios executados por cada criança, e através da sua análise conceber novos exercícios específicos para ultrapassar dificuldades ou para promover a aprendizagem de novos grafismos.

Da breve descrição anterior, individualizam-se três processos principais que derivam da segmentação do processo tradicional de aprendizagem da escrita. Cada um deles é

desenvolvido nas sub-seções seguintes.

3.3.1 Criação de exercícios

O processo de criação de exercícios é da responsabilidade exclusiva do professor e, por esse motivo, esta funcionalidade será também exclusiva à ferramenta dedicada a estes profissionais.

De modo a fornecer o suporte necessário à primeira fase do processo de ensino e aprendizagem da caligrafia, esta solução deverá assentar nas premissas de flexibilidade, especificidade e modularidade. A flexibilidade é fundamentalmente conseguida através da atribuição de liberdade total ao tutor para a definição dos conteúdos programáticos ou exercícios. Uma vez que o professor é o responsável absoluto por determinar a sequência de exercícios e o ritmo de introdução de novos grafismos a cada criança, este também tem a capacidade de definir exercícios específicos (especificidade) para ultrapassar as diferentes dificuldades de cada criança. Por outro lado, um grafema pode ser uma letra, algarismo ou qualquer outra forma básica que favoreça o desenvolvimento da coordenação motora. Deste modo, a reutilização de conteúdos é fundamental dado que o mesmo grafismo pode ser executado por mais do que uma criança. A reutilização de conteúdos está ligada à capacidade de modularidade da solução que por sua vez se baseia na decomposição do exercício em estruturas mais simples que podem ser hierarquizadas. Assim, uma lógica de conceitos hierárquica, potencia a reutilização dos grafemas definidos pelo professor.

Nesta lógica de conceitos hierárquicos definiram-se os conceitos de *Modelo* constituindo-se a base desta estrutura, *Desafio* como conceito intermédio e, finalmente, *Unidade de Aprendizagem*. A figura 3.3 mostra, de um modo simplificado, a organização hierárquica destes conceitos.

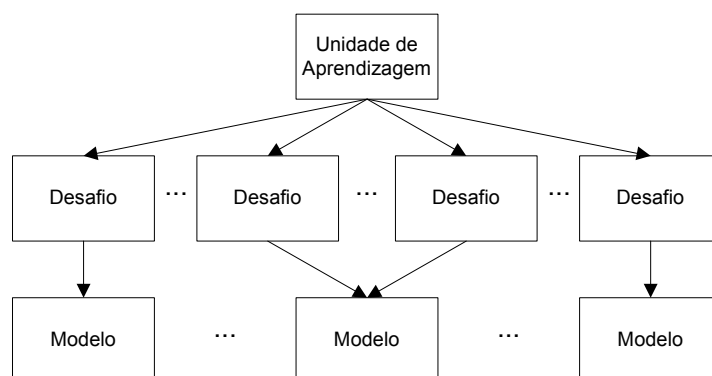


Figura 3.3: Hierarquia de conceitos.

O *Modelo* define-se como a unidade elementar deste processo de definição de exercícios e corresponde a um qualquer grafema executado pelo professor e gravado no sistema. Não deverá existir número limite para a criação de grafemas, logo de *Modelos*. A caracterização de um *Modelo* assume papel relevante para organização dos conceitos e deverá

ser o mais detalhada possível.

Com base num *Modelo*, o professor deverá definir um *Desafio* que consiste em associar uma tarefa a essa componente elementar. Uma tarefa será, basicamente, o objectivo que o professor pretende que a criança alcance (escrever uma letra, por exemplo) e pode ser caracterizada através de diversas configurações, como:

O Contorno O tipo de linha de apresentação do *Modelo* à criança permite ao professor controlar o nível de suporte visual que o aluno terá na execução do exercício: uma linha a cheio determina um nível de suporte visual máximo, já uma linha a tracejado representa um nível de suporte mediano, enquanto que um conjunto de pontos numerados apresenta um reduzido nível de acompanhamento e suporte visual. O professor, ao fazer variar o tipo de traço na execução dos *Desafios*, poderá aferir acerca da evolução das capacidades do aluno ao longo do tempo.

A Escala A variação da escala de apresentação do grafema é particularmente importante quando o professor pretende desenvolver a precisão das capacidades de coordenação motora das crianças.

As Repetições O número de repetições com sucesso necessárias para ultrapassar o *Desafio* potencia a facilidade de retenção das capacidades de coordenação cognitiva e motora adquiridas pela criança.

As Instruções O sistema deverá permitir a introdução de meios adicionais de auxílio, tais como gravações áudio de instruções associadas a cada desafio, de forma a tornar a missão inteligível à criança.

A Avaliação Os parâmetros relativos ao grau de exigência dos algoritmos de avaliação deverão ser ajustáveis pelo professor de forma a controlar o grau de dificuldade em cada *Desafio*.

Finalmente, a *Unidade de Aprendizagem* constitui-se por um agrupamento de *Desafios* sequenciais que um aluno deverá executar. Face à lógica hierárquica apresentada, a composição de *Unidades de Aprendizagem* a apresentar aos alunos, deverá ser um processo que fomente efectivamente a reutilização de estruturas previamente definidas e que reduza a carga de esforço do professor. A figura 3.4 apresenta a forma como os conceitos se relacionam durante esta fase de definição dos exercícios.

Sendo o *Desafio* a base de definição da *Unidade de Aprendizagem*, o primeiro passo neste processo é, perante um objectivo definido pelo professor, identificar um conjunto de *Desafios* que sirvam este mesmo objectivo. Caso não exista nenhum *Desafio* definido anteriormente nestas condições, será necessário que o professor defina um novo, recorrendo aos *Modelos* já existentes no sistema ou criando um novo que seja mais conveniente.

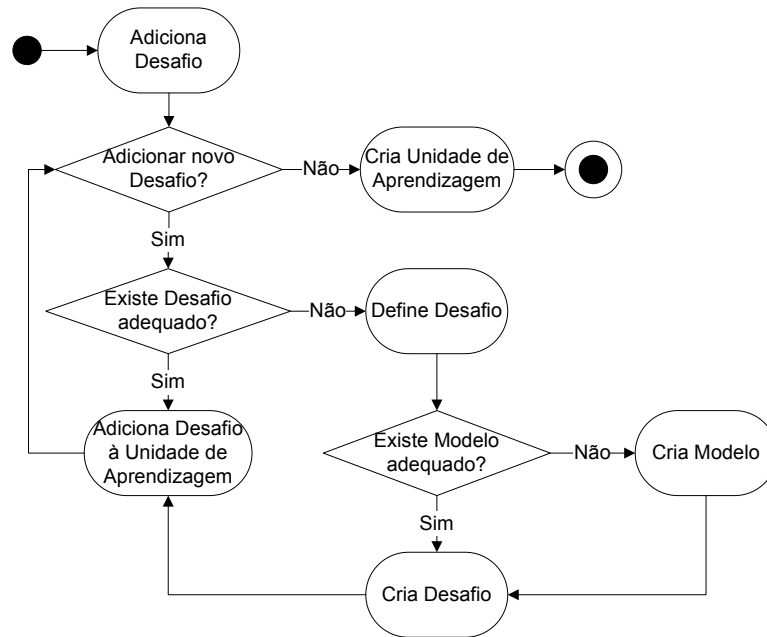


Figura 3.4: Diagrama de actividade para a definição de um conjunto de exercícios pelo professor.

3.3.2 Execução de exercícios

Na fase seguinte do processo, o aluno deverá estar capaz de executar os desafios da *Unidade de Aprendizagem* definida pelo tutor. Esta componente do ensino da escrita gráfica está deste modo a cargo do aluno, e confinada à solução dos alunos.

Uma vez que a criança poderá executar os exercícios em casa, beneficiando da mobilidade oferecida pela solução, ela necessita de obter informações acerca do objectivo dos *Desafios*. Assim, deverão estar disponíveis duas formas de obter esta informação: uma através da audição das instruções gravadas pelo professor e outra através da visualização de uma animação que simula a execução do desafio pelo próprio professor. Caso a criança se tenha distraído durante as instruções, esta poderá sempre solicitar novamente a reprodução das mesmas.

Tendo a noção do que se espera dela, a criança inicia a execução do desafio guiada por mecanismos de auxílio e orientação disponibilizados pelo sistema: sempre que esta interrompe a execução do exercício, o sistema deverá fornecer-lhe informação visual de onde deve reiniciar o gesto e em que sentido, e no caso de a criança falhar a execução de um *Desafio*, o sistema deverá indicar-lhe de forma visual a distância a que se encontra do *Modelo* do professor. Estes mecanismos de ajuda em tempo real de execução de exercícios representam uma mais-valia da plataforma computacional proporcionando um acompanhamento próximo à criança.

Finalmente, a própria criança solicita uma apreciação ao sistema que determinará se esta pode avançar para o *Desafio* seguinte ou não. Esta avaliação automática, conseguida

através da aplicação de algoritmos próprios sobre o gesto da criança, deverá validar alguns conceitos fundamentais no processo de aprendizagem da caligrafia. Estes conceitos derivam das técnicas tradicionais do ensino da escrita gráfica e são os seguintes:

- O respeito pela sequência de execução do grafema de acordo com *Modelo* original;
- A correcção/qualidade em relação ao gesto original;
- A proporção do gesto executado face ao *Modelo* do professor;

A figura 3.5 mostra as actividades subjacentes à execução de uma *Unidade de Aprendizagem*.

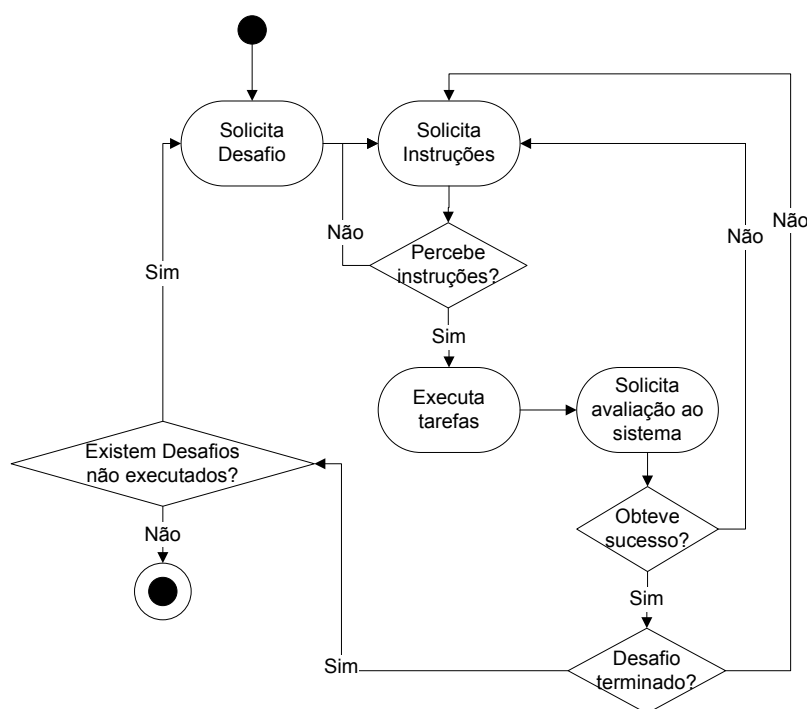


Figura 3.5: Diagrama de actividade para a execução de um conjunto de exercícios pelo aluno.

Neste diagrama destaca-se principalmente a autonomia da criança neste processo, obtendo as instruções necessárias ao exercício e a sua classificação de modo independente do professor. Os processos de auxílio foram excluídos deste diagrama uma vez que estes serão executados automaticamente pelo sistema, sem que seja necessária acção directa da criança no sentido de os despoletar.

3.3.3 Visualização e validação da execução de exercícios

Para concluir este ciclo de ensino e aprendizagem, resta apenas ao professor a possibilidade de visualizar as animações das execuções dos alunos. Esta característica tem grande

potencial no auxílio ao professor na identificação de padrões e comportamentos incorrectos demonstrados pela criança e na validação das capacidades apreendidas pela mesma. Tratando-se de um sistema computacional, algumas métricas poderão ser facilmente extraídas da execução dos exercícios e apresentadas ao professor. A imagem da figura 3.6 representa as actividades associadas à tarefa de correcção e validação da evolução dos alunos após execução dos exercícios de uma unidade de aprendizagem.

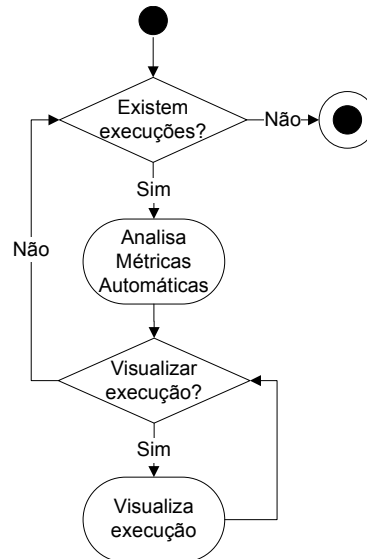


Figura 3.6: Diagrama de actividade para a visualização e análise pelo professor de um conjunto de execuções de exercícios realizadas pelo aluno.

Com base nas informações captadas pelo sistema e nas observações próprias do professor, este percepção o grau de maturidade que a criança demonstra na execução dos exercícios e deve agir em conformidade com o mesmo, avançando ora para novos conteúdos programáticos ora para a resolução de problemas identificados.

3.4 Resumo

Neste capítulo apresentou-se uma ligeira análise do processo tradicional de ensino e aprendizagem da escrita gráfica. Este processo baseado no método sintético e analítico apresenta algumas quebras no fluxo de trabalho que estão associadas à alteração do actor responsável pela execução das tarefas: uma, após a definição dos exercícios pelo professor, quando o aluno inicia a sua acção; e outra, quando o professor corrige o exercício executado pelo aluno. Havendo este tipo de sequenciamento de actividades, e sendo o professor partilhado por várias crianças, estas quebras podem contribuir para a geração de entropia prejudicial à aprendizagem.

Uma forma de reduzir a dependência dos alunos face à pessoa do professor passa por propor uma solução computacional que correlacione as três dimensões envolvidas neste

paradigma: a tecnologia, os alunos e o professor, como meio de ensino. Considerando cada uma delas, foram ainda enunciadas oito premissas fundamentais que devem guiar a forma como a solução proposta se deve constituir.

Esta solução subdivide-se naturalmente em duas ferramentas distintas que servem cada um dos nichos populacionais, com objectivos bem definidos: a ferramenta dos tutores permitirá criar exercícios e visualizar a execução dos mesmos; a ferramenta dos alunos limitar-se-á a fornecer uma plataforma de execução dos exercícios criados. As premissas enunciadas foram materializadas na proposta de solução apresentada.

Capítulo 4

Desenho da solução

A concretização da visão apresentada no capítulo anterior passa pela construção de uma plataforma composta por um conjunto de componentes de software que possam ser partilhados entre as duas ferramentas que servem os professores e os alunos. A imagem da figura 4.1 apresenta a distribuição das características desejáveis em tal solução pelas três dimensões de análise que influenciam a temática de ensino e aprendizagem da escrita gráfica. Desta concertação multidisciplinar resulta uma plataforma de componentes de software denominada IWA - Improving Writing Ability, que sustenta o desenvolvimento de ferramentas de auxílio a professores e a alunos, no processo de ensino/aprendizagem da escrita.

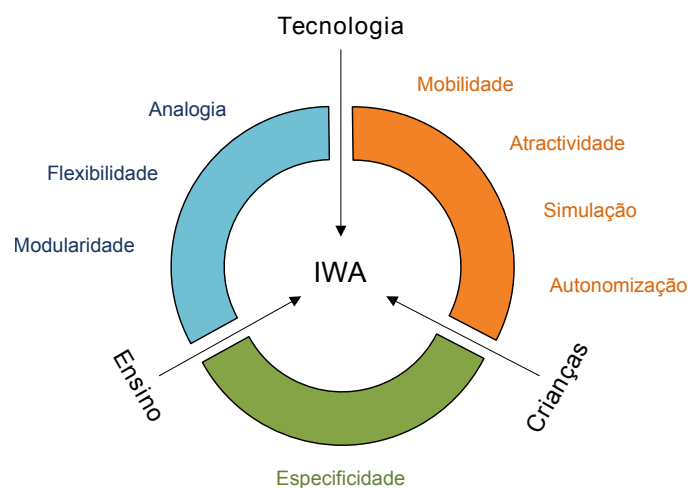


Figura 4.1: Dimensões que influenciam a plataforma IWA.

O presente capítulo aborda as variadas componentes que constituem a plataforma IWA. Inicialmente, é apresentada a sua arquitectura de alto nível, permitindo identificar as correlações entre os elementos que a compõem. Segue-se uma descrição mais detalhada de cada um, salientando as funcionalidade mais importantes. Finalmente, na secção de resumo, é realizado um sumário das principais características desta solução.

4.1 Arquitectura IWA

A figura 4.2 apresenta graficamente a estrutura dos vários componentes necessários à implementação da plataforma IWA.

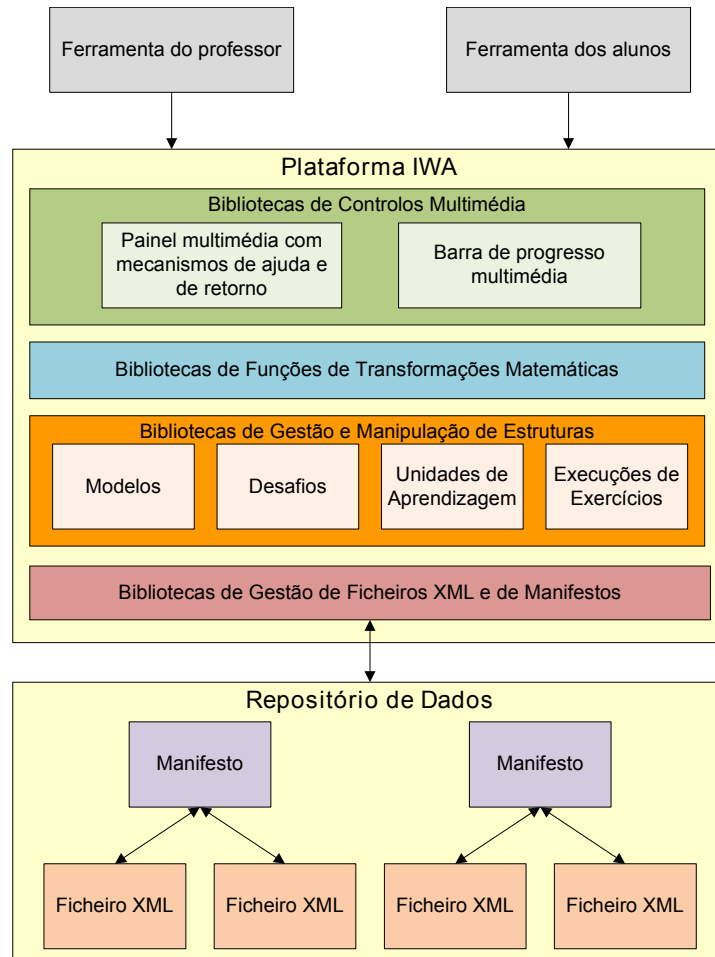


Figura 4.2: Arquitectura da plataforma IWA.

Numa análise mais superficial à plataforma representada na figura 4.2 sobressaem imediatamente três agrupamentos principais de componentes: na base, encontra-se o repositório de dados composto por ficheiros com a informação base do sistema; no centro, está o conjunto de bibliotecas que permitem interpretar e manipular toda a informação guardada nos ficheiros do repositório; no topo, as ferramentas do professor e do aluno que fazem um uso concertado de todos os componentes subjacentes auxiliando as duas populações no processo de ensino e aprendizagem da escrita. Relativamente a estas ferramentas, neste trabalho foram construídos dois protótipos que são apresentados no capítulo 5.

Uma descrição pormenorizada dos módulos de componentes computacionais (repositório de dados e plataforma IWA) é efectuada nas secções que se seguem.

4.2 Repositório de dados

Todos os conceitos hierárquicos (conforme descritos na sub-seção 3.3.1) envolvidos nesta plataforma e suas caracterizações exaustivas, necessitam ser guardados em formato digital e organizados de forma conveniente de modo a facilitar o acesso a eles pelas ferramentas computacionais do professor e do aluno.

Uma forma possível de armazenar este tipo de informação passaria por construir uma base de dados, os respectivos mecanismos de interação com ela e de sincronização de conteúdos entre ferramentas. Contudo, isso implicaria a instalação de diversos componentes de software relacionados com o SGBD seleccionado, tanto nos dispositivos do professor quanto nos dos alunos. Por outro lado, a quantidade de informação gerada pela plataforma não justifica a existência de um motor de base de dados dedicado para o armazenamento e gestão dos conceitos envolvidos.

O uso de ficheiros estruturados é uma forma simples para armazenamento de dados em sistemas que, como estes, não apresentam necessidade de realização de transacções complexas sobre a informação que utilizam. De facto, aqui apenas se executam operações de leitura e escrita de informação. Assim, a informação utilizada nesta plataforma assume a forma de um conjunto de ficheiros XML indexados em ficheiros manifestos específicos.

Estes ficheiros XML mantêm todos os dados relativos aos *Modelos*, *Desafios*, *Unidades de Aprendizagem* e à *Execução de Exercícios*. A cada um destes conceitos, está associada uma estrutura própria de ficheiro com todos os dados e metadados relevantes para a caracterização dos mesmos. A estrutura dos ficheiros XML e dos respectivos manifestos (ficheiros que sumariam as informações dos ficheiros XML), isto é, as suas etiquetas mais importantes, é apresentada no diagrama de classes da figura 4.3.

Seguidamente descrevem-se, em maior detalhe, as diferentes classes apresentadas na figura 4.3.

XML de Modelo Este ficheiro agrega toda a informação de caracterização do *Modelo* criado pelo professor, apresentando ainda alguns elementos que são inferidos durante a criação do mesmo. Esta informação inferida assume especial importância para a aplicação de alguns procedimentos de apresentação gráfica da informação justificados na secção 4.3.3.

- Identificador - O nome do ficheiro, gerado com base na caracterização do conceito.
- Tipo de *Modelo* - Consiste na indicação de que o *Modelo* é do tipo letra, algarismo ou gesto livre.
- Subtipo de *Modelo* - No caso de o tipo do *Modelo* ser uma letra, este campo toma os valores de maiúscula ou minúscula. Caso contrário, fica vazio.

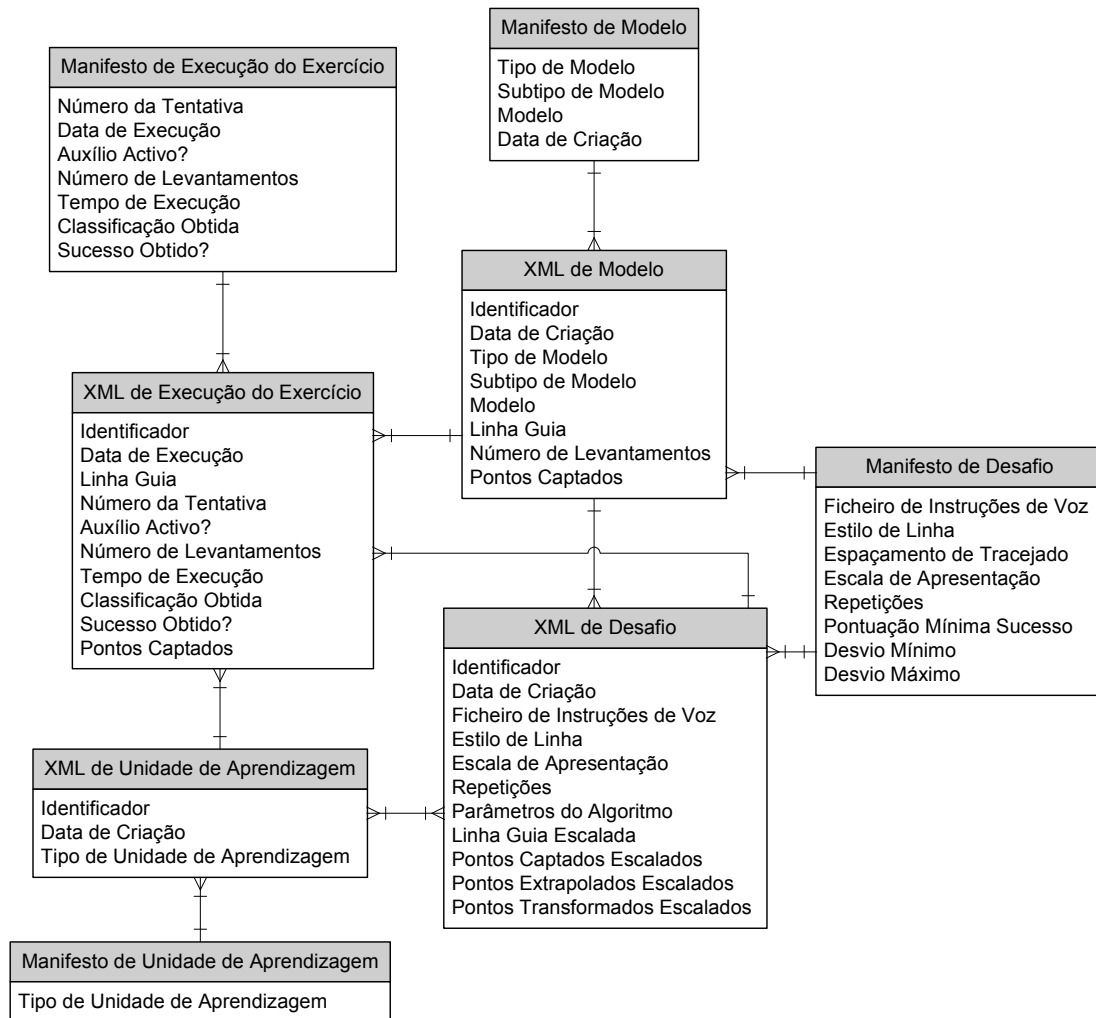


Figura 4.3: Diagrama de classes do repositório de dados.

- *Modelo* - A letra, o algarismo ou nome definido pelo professor para o gesto livre.
- Data de Criação - Data e hora do sistema quando da criação do *Modelo*.
- Linha Guia - Para além de fornecer informação espacial necessária nos processos de aprendizagem da caligrafia de acordo com o indicado na secção 2.1, este elemento é fundamental para garantir a correcta apresentação do conteúdo à criança: o espaço onde o professor cria o *Modelo* não é igual ao espaço onde a criança executa o exercício, daí haver necessidade de guardar também a informação da linha guia para recolocar o *Modelo* correctamente na interface da criança. Esta linha guia é caracterizada por dois atributos, m e b , que derivam directamente da equação matemática de definição de uma recta: $y = mx + b$.
- Número de Levantamentos - Corresponde ao número de vezes que o professor levantou a caneta quando desenhou o *Modelo*. Esta informação faz parte da informação inferida da fornecida pelo professor.

- Pontos Captados - Os pontos captados originais são elementos compostos por 4 atributos: x e y correspondem às coordenadas dos pontos captados, t indica o tempo decorrido desde o início da execução do *Modelo*, e e equivale ao evento captado indicando se se tratou de um evento de levantamento da caneta ou se, pelo contrário, equivale a um ponto de ataque (por exemplo, quando o professor baixou a caneta). Esta estrutura é indispensável para as funcionalidades de simulação e para apresentar correctamente o gesto efectuado quando este é composto por vários traços, ou seja, quando há interrupção da escrita.

XML de Desafio Os ficheiros dos *Desafios* são compostos pelo conjunto de informação fornecida pelo professor e por um conjunto de dados transformados que têm como objectivo otimizar o desempenho das duas ferramentas.

- Identificador - O nome do ficheiro, gerado com base na caracterização do conceito.
- Data de Criação - Data e hora do sistema quando da criação do *Desafio*.
- Nome do ficheiro áudio de instruções - O nome do ficheiro áudio com as instruções gravadas pelo professor. Este ficheiro encontra-se numa directoria específica e estática nos sistemas.
- Estilo de Linha - Este elemento contém 2 atributos: o tipo de linha do contorno do grafema a completar e o intervalo de espaçamento (apenas no caso de o tipo de linha não ser uma linha a cheio).
- Escala de Apresentação - A escala percentual de apresentação do *Modelo*.
- Repetições - Número mínimo de repetições (com sucesso).
- Parâmetros do Algoritmo - Este elemento agrupa os 3 atributos que são utilizados pelos algoritmos internos descritos na secção 4.3.3: Pontuação mínima para sucesso, Desvio mínimo, Desvio máximo.
- Linha Guia Escalada - Este elemento deriva directamente do elemento Linha Guia do *Modelo*, contudo os valores dos seus atributos encontra-se afectados pelo facto de escala definido no desafio.
- Pontos Captados Escalados - Este elemento é composto por um conjunto de pontos que correspondem aos pontos captados do gesto do professor, mas afectados pelo factor da escala definido pelo professor na caracterização do corrente *Desafio*. Estes elementos possuem os quatro atributos (x , y , t e e) que derivam directamente dos Pontos Captados da estrutura do *Modelo*. Esta informação assume especial importância para simular a execução do gesto pelo professor.

- Pontos Extrapolados Escalados - Os pontos extrapolados escalados são elementos que compreendem apenas três dos quatro atributos dos Pontos Captados (Escalados): x , y e e . Estes pontos são calculados por um algoritmo que analisa todos os pontos captados escalados e servem apenas para suporte aos mecanismos de auxílio em tempo real e ao algoritmo de classificação de desempenho referidos na secção 4.3.3.
- Pontos Transformados Escalados - Estes pontos correspondem à transformação do gesto apresentado no desafio propriamente dito, com o tipo de linha definido, e por não serem temporizados, possuem os mesmos atributos dos Pontos Extrapolados Escalados. Caso este tipo de linha seja uma linha a cheio, estes pontos serão iguais aos Pontos Extrapolados Escalados. Caso o tipo de linha seja a tracejado ou um conjunto de pontos numerados, apenas figurarão neste elemento os pontos efectivamente apresentados como suporte visual ao aluno.

XML de Unidades de Aprendizagem Este ficheiro é o mais simples porque, basicamente, corresponde ao último nível da hierarquia e sobre ele não são construídos novos conceitos.

- Identificador - O nome do ficheiro, gerado com base na caracterização do conceito.
- Data de Criação - Data e hora do sistema quando da criação da *Unidade de Aprendizagem*.
- Tipo de *Unidade de Aprendizagem* - Toma os valores de trabalho de casa ou de sala de aula, e consoante um ou outro, as instruções de voz existentes para cada desafio são reproduzidas ou não.

XML de Execução do Exercício Este ficheiro contém todas as informações das execuções efectuadas pela criança face a um desafio apresentado na unidade de aprendizagem.

- Identificador - O nome do ficheiro, gerado com base na caracterização do conceito.
- Data de Execução - Data e hora do sistema quando da *Execução do Exercício*.
- Linha Guia - À semelhança da Linha Guia do *Modelo* esta também é caracterizada por dois atributos m e b derivados da equação matemática de definição de uma recta relativos à localização da linha na interface da criança.
- Número da tentativa - Número de vezes que a criança já tentou executar o corrente *Desafio*.

- Auxílio Activo? - Indica se os mecanismos de auxílio se encontram activos assumindo os valores Sim ou Não.
- Número de Levantamentos - Número de vezes que o aluno levantou a caneta para executar o Exercício.
- Tempo de Execução - Tempo decorrido desde a captura do primeiro ponto até à captura do último ponto da *Execução do Exercício*.
- Classificação Obtida - Classificação quantitativa calculada pelo algoritmo após a *Execução do Exercício*.
- Sucesso Obtido? - Indicação se o desafio foi superado ou não, através da comparação da Classificação Obtida com valor da Pontuação mínima para sucesso definida no desafio correspondente pelo professor.
- Pontos Captados - Os pontos originais são elementos compostos por 4 atributos: x e y correspondem às coordenadas dos pontos captados, t indica o tempo decorrido desde o início da execução do exercício, e e equivalente ao evento que indica se a criança levantou a caneta ou se a baixou.

De modo a otimizar todo o processo de acesso a cada ficheiro XML, considerou-se importante o recurso a ficheiros manifestos que contêm informação relevante para cada tipo de ficheiro. Nestes ficheiros, cada linha corresponde a um ficheiro XML e, os dados nela contidos são etiquetados e separados por ponto e vírgula. Apesar de, na sua essência, estes ficheiros referirem informação que também está contida nos ficheiros XML, causando assim redundância de informação, considera-se que esta representa uma mais-valia no desempenho das ferramentas. Uma vez que os metadados considerados mais relevantes se encontram também nos ficheiros de manifesto, os ficheiros XML só são acedidos quando há necessidade de reproduzir gestos ou de apresentar os desafios. Existindo um ficheiro manifesto para cada um dos quatro conceitos principais descritos na visão do sistema, estes podem apresentar as seguintes estruturas:

Manifesto de Modelos Este ficheiro consiste no índice dos ficheiros das unidades elementares sobre os quais são construídos todos os restantes conceitos. Compreende basicamente um conjunto de metadados que ajudam à apresentação da informação de modo mais eficiente e completo principalmente quando da definição e criação de desafios.

Manifesto de Desafios Este manifesto já permite relacionar dois conceitos de um modo mais directo: o *Modelo* e o *Desafio* criado sobre ele. Mais uma vez, este ficheiro é particularmente útil na definição de unidades de aprendizagem pois permite a apresentação da caracterização de cada desafio de um modo rápido sem ser necessário abrir todos os ficheiros XML de definição de desafios para esse efeito.

Manifesto de Unidades de Aprendizagem Este manifesto é o mais simples deste conjunto, porque basicamente é o último nível da hierarquia e sobre ele não são construídos novos conceitos.

Manifesto de Execuções de Exercícios Este resume toda a informação de todas as execuções efectuadas pela criança, de modo a permitir um carregamento rápido dessa informação no módulo de visualização das execuções para o professor poder concluir acerca do desenvolvimento do aluno.

4.3 Plataforma IWA

A plataforma IWA é formada por um conjunto de bibliotecas que implementam várias funcionalidades, desde a manipulação à interpretação da informação guardada no repositório de dados. As subsecções seguintes descrevem cada uma das camadas identificadas nesta plataforma, que sustentam o desenvolvimento de ferramentas interactivas para professores e alunos.

4.3.1 Biblioteca de gestão de ficheiros XML e manifestos

Para manipular tanto ficheiros XML quanto manifestos, foram criadas bibliotecas específicas de manipulação destas estruturas de dados que são partilhadas pelas duas ferramentas. Estas bibliotecas estabelecem portanto a base da integração dos componentes elementares e essenciais, ou seja, os ficheiros, que alimentam a plataforma IWA. As funções desenvolvidas nestas bibliotecas de manipulação de ficheiros compreendem as operações básicas de leitura e criação de novos ficheiros.

4.3.2 Biblioteca de gestão de estruturas lógicas

As bibliotecas de gestão e de manipulação de estruturas lógicas correspondem à implementação lógica dos objectos representativos dos conceitos basilares desta arquitectura e das funcionalidades a eles associadas. Estas bibliotecas permitem relacionar facilmente as várias estruturas de dados: modelos, desafios, unidades de aprendizagem e execuções de exercícios.

Face aos requisitos do sistema, sentiu-se ainda necessidade de construir novas estruturas de dados baseadas em tipos de dados já existentes. Por exemplo, a estrutura de ponto foi estendida para incluir para além da localização gráfica, a informação temporal e de contexto (se levantou a caneta ou não), de modo a permitir a sua posterior apresentação em forma de animação. Estas estruturas e a forma como se relacionam entre si, são apresentadas no diagrama da figura 4.4.

Dada a complexidade e especificidade algorítmica das transformações a aplicar a estas estruturas lógicas, foi ainda necessário conceber uma nova biblioteca que concentrasse

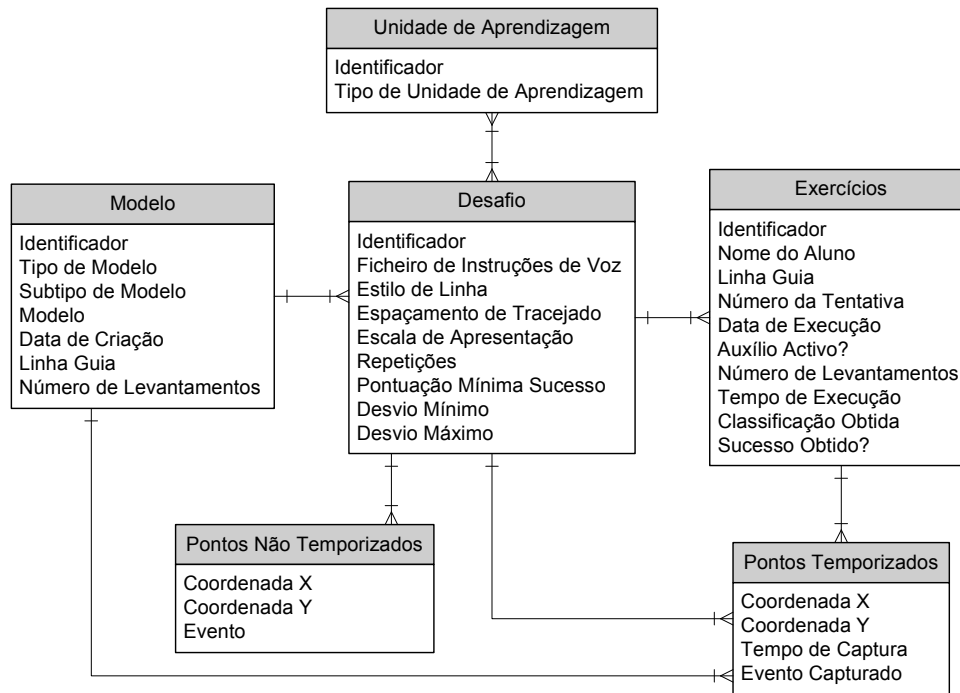


Figura 4.4: Diagrama de classes das estruturas de dados.

basicamente todas as funções matemáticas e gráficas. Essa biblioteca é apresentada na subsecção que se segue.

4.3.3 Biblioteca de algoritmos, funções e transformações matemáticas

Esta biblioteca de funções matemáticas compreende para além das funções básicas e directas das funcionalidades do sistema, como escalas, translações, centróides e geração de tracejados, associados à componente gráfica de apresentação de conteúdos, os algoritmos complexos de extrapolação de pontos captados, algoritmos de ajuda em tempo real e de avaliação.

O algoritmo de extrapolação de pontos descrito na subsecção seguinte, tem como objectivo fornecer sustentação aos mecanismos de auxílio em tempo real a utilizar nas ferramentas das crianças. Este algoritmo é utilizado na criação de um *Desafio* para a definição dos pontos extrapolados escalados que serão usados durante a execução de exercícios pelos mecanismos de auxílio e de avaliação. Para além deste algoritmo, o mecanismo de ajuda em tempo real, detalhadamente descrito na secção 4.3.4, utiliza ainda um outro que é denominado Algoritmo de cálculo do ponto do *Modelo* mais próximo para determinar se o gesto da criança se afasta ou aproxima do modelo do professor. Finalmente, o Algoritmo de avaliação do gesto da criança concilia diversos factores alguns dos quais derivados também da aplicação do anterior algoritmo.

Nos parágrafos seguintes são apresentados os cálculos associados a estes dois algorit-

mos.

Algoritmo de cálculo do ponto do *Modelo* mais próximo

A distância do ponto desenhado ao ponto sequencial mais próximo do modelo é calculada por um algoritmo específico recorrendo a dois conceitos: o número máximo de pontos sequenciais de pesquisa no *Modelo* e a extrapolação dos seus pontos captados e escalados de forma a determinar todos os pontos possíveis do gesto.

O número máximo de pontos sequenciais de pesquisa no *Modelo* é fundamental para garantir que o algoritmo se encontra a estabelecer a correcta correspondência entre o ponto desenhado e o ponto mais próximo do modelo.

A imagem 4.5, ajuda a clarificar melhor este aspecto. A letra *t* minúscula apresentada é desenhada com sobreposição de vários traços: inicia-se o desenho com um traço ascendente (1) seguido por um descendente (2) causando sobreposição parcial ao primeiro traço (entre os pontos a e b da figura) e um traço horizontal (3) que cruza os dois anteriores (no ponto c). Durante a execução do exercício, o aluno pode desenhar o traço ascendente mais próximo do traço descendente, que no caso do algoritmo não ter um intervalo máximo de pesquisa de pontos sequenciais poderia levar a um desajuste do cálculo da distância ao ponto mais próximo, caso o ponto desenhado fosse incorrectamente mapeado com o ponto do *Modelo*. O mesmo poderia acontecer quando o desenho da criança cruza o traço horizontal: a menor distância a um ponto do modelo poderia ser a correspondente a um ponto do traço horizontal, quando a criança estaria a desenhar um dos outros traços, ascendente ou descendente. Neste algoritmo o número máximo de pontos sequenciais a analisar foi estabelecido em 30, valor este que se verificou, através da observação directa do comportamento do mecanismo, ser suficiente para garantir a eficiência do mesmo.

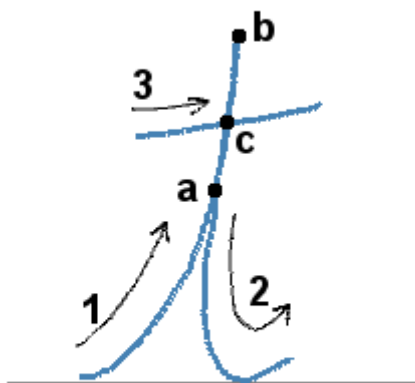


Figura 4.5: Gesto associado à letra *t* minúscula.

A extrapolação dos pontos captados no modelo está fortemente interligada ao conceito anterior e é particularmente importante na medida em que os pontos captados efectivamente correspondem a eventos intervalares, que não garantem distâncias regulares entre cada ponto. Tipicamente, um professor por já dominar a técnica da escrita executa os movimentos mais rapidamente do que uma criança conduzindo assim à captura de menos pontos comparativamente a ela que, por ter mais dificuldades na coordenação motora, gera muitos mais eventos. Este algoritmo analisa um conjunto de pontos captados escalados e, caso a distância das coordenadas individuais entre cada dois pontos captados escalados sequenciais seja superior a um, este gera automaticamente todos os pontos com coordenadas (x e y) de valor inteiro que estão compreendidos entre eles. Os pontos extrapolados não são temporizados uma vez que apenas servem para apoiar os mecanismos de avaliação e de auxílio em tempo real. Deste modo, o algoritmo de extrapolação de pontos captados garante que a base de comparação para o algoritmo de cálculo do ponto mais próximo apresenta uniformidade de pontos dado que estes são sequenciais e com intervalos regulares mínimos.

Algoritmo de avaliação

O algoritmo de avaliação dos gestos efectuados pela criança permite quantificar o desempenho do aluno face aos parâmetros definidos pelo professor e a outros critérios inerentes à sua fórmula de cálculo. Este algoritmo de valorização da execução de exercícios baseia-se em dois critérios principais: a percentagem da execução/cobertura do gesto do modelo e a média dos desvios observados.

A percentagem de execução do modelo pela criança é um factor determinante para o valor da pontuação atribuída pelo algoritmo. Esta métrica designa-se métrica de cobertura (α), e representa a percentagem de cobertura do modelo pela criança. Deste modo, se a criança executar apenas parcialmente um gesto, a sua classificação será afectada com penalização proporcional à percentagem do gesto coberto. Conforme indicado anteriormente, o ponto do modelo extrapolado correspondente ao último ponto captado do gesto do aluno é determinado dentro dos 30 pontos sequenciais relativos ao último ponto mapeado, o que apresentar menor desvio. A métrica de cobertura α é então traduzida pela expressão:

$$\alpha = \frac{\sigma}{\tau} \quad (4.1)$$

onde σ é o índice do ponto do modelo correspondente ao último ponto desenhado e τ é o número total de pontos extrapolados do modelo.

A média de desvios observados consiste em determinar a média da distância dos pontos captados durante a execução do exercício aos pontos do modelo do professor. Trata-se de uma média aritmética das distâncias absolutas aos pontos do modelo que sequencialmente lhes estão mais próximos. A soma das distâncias sustentadas na assumpção da comparação do modelo extrapolado com os pontos captados do gesto da criança, é en-

tão dividida pelo número de pontos captados resultando assim no valor do desvio médio. Esta métrica corresponde a um valor aproximado e não absoluto visto que se consideram apenas os pontos captados e não os extrapolados do gesto desenhado. A justificação para esta opção assenta no facto de uma extrapolação comparada ter de garantir as seguintes duas condições em simultâneo: o número de pontos comparados é o mesmo tanto no modelo como no gesto executado pela criança, sendo portanto necessária uma operação de normalização dos mesmos, e a comparação da extrapolação dos dois gestos corresponde à mesma superfície, isto é, caso a criança execute parcialmente o gesto, esta comparação terá de ser igualmente parcial. Uma vez que também a métrica de cobertura está dependente da premissa descrita anteriormente, a determinação do último ponto extrapolado correspondente ao último ponto desenhado, esta comparação extrapolada não estaria isenta de erro. Igualmente, a normalização dos gestos implicaria ainda a afectação de um factor de erro aos pontos desenhados.

Este indicador, média dos desvios θ , é usado no cálculo da chamada métrica de desvio δ que reflecte a classificação do gesto face ao desvio máximo definido pelo professor e que é dada pela seguinte fórmula:

$$\delta = \begin{cases} 1 - \frac{\theta}{\mu} & \text{se } \theta < \mu \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.2)$$

onde μ é o valor do desvio máximo definido pelo professor para o desafio.

Os factores apurados, métrica de cobertura α e métrica de desvio δ , são então aplicados numa fórmula que traduz a pontuação ρ obtida pelo algoritmo em valores percentuais. Esta pontuação é dada pela seguinte expressão:

$$\rho = \alpha * \delta * 100 \quad (4.3)$$

Uma vez computada a classificação do desempenho da criança, o resultado é comparado com o valor indicado no parâmetro de Pontuação Mínima pelo professor, para determinar se o desafio foi superado ou não, e então indicar o mesmo à criança pelos mecanismos de retorno de classificação multimédia descritos no capítulo 5.

4.3.4 Biblioteca de controlos multimédia

Finalmente, a biblioteca multimédia baseia-se na representação visual e auditiva dos mecanismos de ajuda e de retorno do sistema. Esta biblioteca compreende dois controlos especificamente desenhados para a interface das crianças bem como a implementação de todos os mecanismos de operação dos mesmos: um painel com capacidades de reacção gráficas em tempo real e uma barra de progresso colorida com animações gráficas dinâmicas e eventos que despoletam efeitos sonoros. O primeiro controlo encontra-se particularmente associado às tarefas de execução dos exercícios e é o responsável por apresentar graficamente o auxílio às crianças durante a execução dos mesmos. A barra de progresso

colorida tem a função de apresentação do resultado obtido após aplicação do algoritmo de classificação.

Seguidamente, cada um destes controlos é descrito e são salientadas as suas principais características. Em virtude destes dois controlos serem componentes respeitantes à interface gráfica, serão ainda referidos no capítulo 5, quando da apresentação da aplicação para os alunos.

Painel com capacidades reactivas em tempo real

Este painel, para além possuir capacidades de simulação de escrita conseguidas com base em funções gráficas específicas, implementa os três mecanismos de auxílio disponíveis na plataforma IWA:

1. Simulação de execução do exercício através da reprodução gráfica do gesto do professor, captado durante a definição do exercício.
2. Indicação visual do ponto de ataque para início da execução do exercício e respectiva simulação de movimento.
3. Indicação visual do afastamento real do gesto da criança face ao modelo subjacente.

A primeira ajuda fornecida pela plataforma IWA recorre principalmente à biblioteca de gestão de estruturas lógicas apresentada na secção 4.3.2. Estas estruturas organizam e estruturam a informação contida nos ficheiros e permitem a aplicação de algoritmos simples de apresentação de grafismos.

A segunda ajuda consiste em indicar visualmente o ponto de ataque para início ou reinício de execução de desafio. Este indicador, é despoletado sempre que o aluno não está a escrever sobre o painel ou porque ainda não iniciou essa tarefa ou a interrompeu sem ter terminado o exercício. Apresenta-se sob a forma de uma pequena animação gráfica de cinco pontos coloridos mostrados sequencialmente sobre o modelo do professor que transmitem assim uma noção do ponto de ataque e o sentido em que deve ser efectuado o movimento esperado. A figura 4.6 ilustra como este mecanismo funciona, identificando a sequência dos passos aqui envolvidos.

Finalmente, o terceiro auxílio é determinado pela alteração progressiva do tamanho e da cor do traço desenhado, à medida que esta se afasta do traço do modelo, fornecendo desta forma uma indicação visual do nível de afastamento que possui do original.

Este mecanismo assenta em dois conceitos principais: o número de falhas consecutivas na execução de um mesmo exercício é superior a dois e a distância do ponto desenhado ao ponto sequencial mais próximo do modelo definido pelo professor é superior aos parâmetros desvio mínimo e desvio máximo definidos no desafio. A distância do ponto desenhado ao ponto sequencial mais próximo do modelo é calculada por um algoritmo especificado na secção 4.3.3. Este algoritmo permite o correcto cálculo da distância do

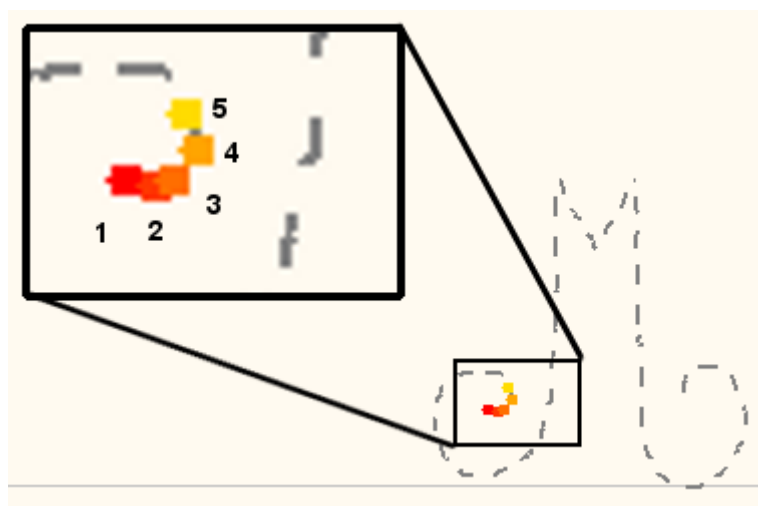


Figura 4.6: Exemplificação do mecanismo auxílio relativo ao ponto de ataque da escrita e ao sentido do movimento esperado.

ponto desenhado ao ponto mais próximo do modelo e consequentemente a determinação da espessura e cor do traço da criança, conforme mostra a figura 4.7. Assim, se a distância determinada, é superior ao desvio mínimo mas interior ao desvio máximo, o traço apresenta a cor amarela-alaranjada. Se a distância é superior ao desvio máximo, então, a cor do traço será vermelha.

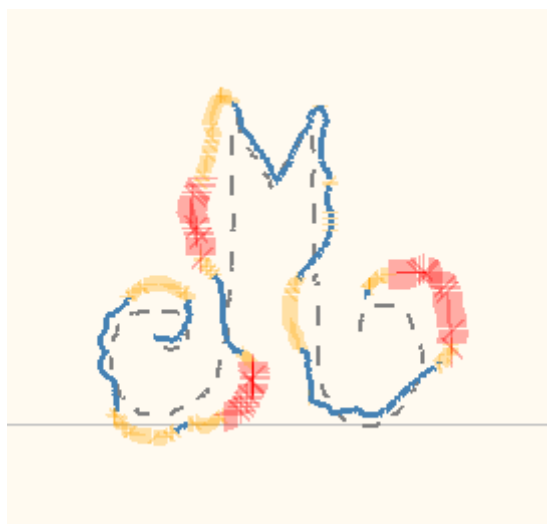


Figura 4.7: Exemplificação do mecanismo de retorno relativo ao ajuste da cor e da espessura do traço desenhado pela criança.

Barra de progresso colorida com aminações dinâmicas

O controlo barra de progresso colorida serve o objectivo de representar de uma forma simples o nível de desempenho conseguido pelo aluno após a execução de cada exercício.

Esta barra de progresso encontra-se representada na figura 5.6 e compreende um indicador de nível preto e uma escala gradativa de tons desde o vermelho na base até ao verde no topo, passando pelos tons de laranja e amarelo na zona central. Este indicador de nível possui a capacidade de se mover deslizando verticalmente sobre a barra colorida, criando assim uma pequena animação gráfica. Quando termina esta animação, a distância da base da barra de progresso ao nível indica a classificação percentual do desempenho obtida através da aplicação do algoritmo de avaliação descrito na sub-secção 4.3.3. A zona verde no topo deste controlo corresponde a boas classificações de desempenho.

Durante esta animação visual, são ainda reproduzidos sons temáticos que geram alguma expectativa e, uma vez alcançada a classificação final, surgem os sons de sucesso ou de insucesso, de acordo com os parâmetros de avaliação definidos pelo professor quando da criação dos desafios.

4.4 Resumo

Para providenciar uma solução capaz de endereçar correctamente os pontos identificados no capítulo anterior, foi concebido um conjunto de componentes computacionais que, de um modo concertado, conseguem fornecer uma base sólida à construção de ferramentas auxiliaadoras no ensino e aprendizagem da caligrafia.

A arquitectura IWA surge deste paradigma e é composta por três secções principais: um repositório de informação sob a forma de ficheiros estruturados, uma plataforma de componentes computacionais que interagem com a informação de base e estabelecem as formas de relacionamento entre os vários níveis e as ferramentas computacionais para os professores e os alunos construídas sobre esta plataforma.

A plataforma construída fornece um conjunto de funcionalidades importantes para a concepção de interfaces de auxílio ao ensino da escrita gráfica e distingue quatro níveis de componentes: uma biblioteca de manipulação dos ficheiros que compõem o repositório de dados, uma biblioteca de estruturas lógicas que estende alguns tipos de dados e implementa outros específicos à problemática em causa, uma biblioteca de funções matemáticas compreendendo a implementação de algoritmos complexos de avaliação de gestos e de manipulações geométricas, e finalmente, uma biblioteca de controlos multimédia que aliam animações gráficas à reprodução de sons específicos a cada circunstância.

Capítulo 5

Protótipos IWA

Sendo a principal missão da plataforma IWA [13], fornecer uma base para construção de ferramentas que visem autonomizar tanto crianças como tutores durante o longo processo de repetição e aperfeiçoamento da caligrafia, neste estudo, foram desenvolvidos dois protótipos: uma ferramenta de composição de exercícios e de visualização das suas execuções e uma interface de apresentação e execução dos mesmos. Cada uma delas é específica para servir cada nicho de utilizadores: a primeira é dedicada aos professores e a segunda às crianças em idade pré-escolar e em início de escolaridade.

As ferramentas apresentadas correspondem às versões finais de desenho resultantes da aplicação de um processo de desenvolvimento iterativo que contou com duas iterações de desenho para a interface das crianças e com uma para a dos professores.

Para o desenvolvimento destes protótipos foi utilizada a ferramenta de desenvolvimento de software Microsoft Visual Studio 2008 com recurso à plataforma .Net 2.0. A programação foi efectuada em linguagem C#.

Nas secções seguintes são detalhados os aspectos fundamentais de cada protótipo.

5.1 Protótipo do professor

Esta interface especificamente construída para os professores dá-lhes a possibilidade de definir e configurar os exercícios a serem apresentados posteriormente às crianças.

Uma vez executados os exercícios, esta ferramenta permite ainda ao professor visualizar a execução dos mesmos de forma a identificar problemas que requeiram a sua atenção e intervenção directa junto da criança. Alguns dos problemas facilmente identificáveis da visualização dos conteúdos captados da experimentação dos alunos são por exemplo a escrita em espelho, ou a execução dos movimentos dos gestos por uma sequência incorrecta.

Nas subsecções seguintes, estas quatro funcionalidades são apresentadas em maior detalhe.

5.1.1 Criação de exercícios

A definição e configuração de um exercício compreende três passos sequenciais baseados nos conceitos hierárquicos apresentados no capítulo 3: a criação de um *Modelo* de gesto/movimento, a criação de um desafio através da associação de tarefas e objectivos específicos a um *Modelo* e, finalmente, a composição de uma unidade de aprendizagem, a ser apresentada à criança através da interface que lhe é própria.

Modelos

Um *Modelo* é o conjunto de informação necessária para a caracterização exhaustiva de um gesto. É composto por um conjunto de pontos sequenciais temporizados e pela respectiva ficha de caracterização, e constitui-se a unidade elementar da plataforma IWA, sobre a qual se constroem de forma hierárquica todos os restantes conceitos.

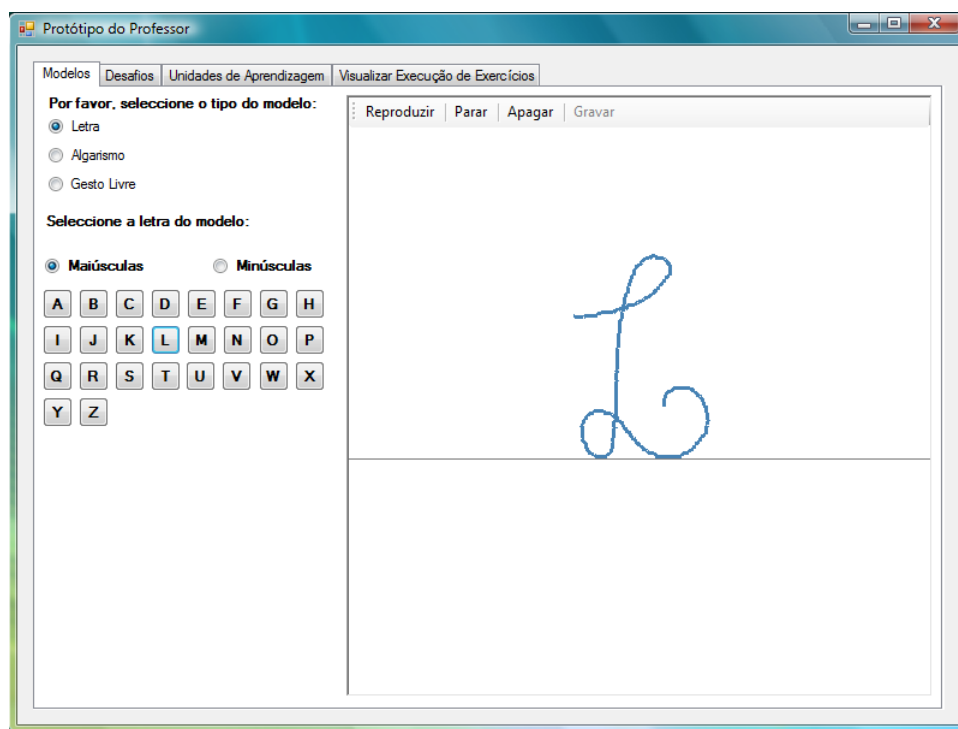


Figura 5.1: Ecrã de definição de Modelos, na ferramenta do professor.

A figura 5.1 apresenta o ecrã de definição de um *Modelo*. Nela identificam-se duas áreas distintas: à esquerda encontra-se a ficha de caracterização do *Modelo* e à direita o painel de captura e gravação do gesto.

Na ficha de caracterização, sobressaem algumas propriedades nomeadamente o tipo de gesto/movimento que se pretende gravar. Esta propriedade pode assumir três valores que correspondem a conceitos bastante latos, daí ser interessante refinar a catalogação do *Modelo*. A figura 5.2 ilustra a organização da interface para os três cenários de definição de um *Modelo*.

<p>Por favor, seleccione o tipo do modelo:</p> <p><input checked="" type="radio"/> Letra</p> <p><input type="radio"/> Algarismo</p> <p><input type="radio"/> Gesto Livre</p> <p>Selecione a letra do modelo:</p> <p><input checked="" type="radio"/> Maiúsculas <input type="radio"/> Minúsculas</p> <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td>G</td><td>H</td></tr> <tr><td>I</td><td>J</td><td>K</td><td>L</td><td>M</td><td>N</td><td>O</td><td>P</td></tr> <tr><td>Q</td><td>R</td><td>S</td><td>T</td><td>U</td><td>V</td><td>W</td><td>X</td></tr> <tr><td>Y</td><td>Z</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z							<p>Por favor, seleccione o tipo do modelo:</p> <p><input checked="" type="radio"/> Letra</p> <p><input type="radio"/> Algarismo</p> <p><input type="radio"/> Gesto Livre</p> <p>Selecione a letra do modelo:</p> <p><input type="radio"/> Maiúsculas <input checked="" type="radio"/> Minúsculas</p> <table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>c</td><td>d</td><td>e</td><td>f</td><td>g</td><td>h</td></tr> <tr><td>i</td><td>j</td><td>k</td><td>l</td><td>m</td><td>n</td><td>o</td><td>p</td></tr> <tr><td>q</td><td>r</td><td>s</td><td>t</td><td>u</td><td>v</td><td>w</td><td>x</td></tr> <tr><td>y</td><td>z</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z						
A	B	C	D	E	F	G	H																																																										
I	J	K	L	M	N	O	P																																																										
Q	R	S	T	U	V	W	X																																																										
Y	Z																																																																
a	b	c	d	e	f	g	h																																																										
i	j	k	l	m	n	o	p																																																										
q	r	s	t	u	v	w	x																																																										
y	z																																																																
<p>Por favor, seleccione o tipo do modelo:</p> <p><input type="radio"/> Letra</p> <p><input checked="" type="radio"/> Algarismo</p> <p><input type="radio"/> Gesto Livre</p> <p>Selecione o algarismo do modelo:</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0							<p>Por favor, seleccione o tipo do modelo:</p> <p><input type="radio"/> Letra</p> <p><input type="radio"/> Algarismo</p> <p><input checked="" type="radio"/> Gesto Livre</p> <p>Escreva o nome do gesto livre do modelo:</p> <input type="text"/>																																																
1	2	3	4	5	6	7	8																																																										
9	0																																																																

Figura 5.2: Interface de caracterização de Modelos, na ferramenta do professor: No topo encontra-se a interface para caracterização de Letras Maiúsculas e Minúsculas; Em baixo, a interface de catalogação de Algarismos e de Gestos Livres com a possibilidade de definir um identificador único para estes últimos.

Para finalizar a criação do *Modelo*, o professor terá de desenhar na área lateral direita do ecrã da figura 5.1, o gesto correspondente. Para o auxiliar nesta tarefa, o professor tem ainda ao seu dispor um conjunto de 4 funcionalidades dispostas numa barra de ferramentas: reproduzir o gesto desenhado, parar a reprodução ou gravação, apagar o último gesto desenhado e finalmente gravar o *Modelo*.

A gravação do *Modelo* consiste na criação de um ficheiro XML, cuja estrutura é apresentada na secção 4. O nome do ficheiro é composto pelo *Modelo* identificado na caracterização, a letra ou o algarismo ou, no caso do gesto livre, o nome do gesto, seguido da data de criação do mesmo em formato de tempo universal coordenado.

Uma vez gravado o *Modelo*, este encontra-se disponível para ser usado na tarefa de criação de desafios.

Desafios

Entende-se por *Desafio* a definição de tarefas, objectivos e parametrizações algorítmicas para um dado *Modelo*.

A imagem da figura 5.3 apresenta a interface de definição dos desafios. Analisando-a identificam-se quatro áreas funcionais:

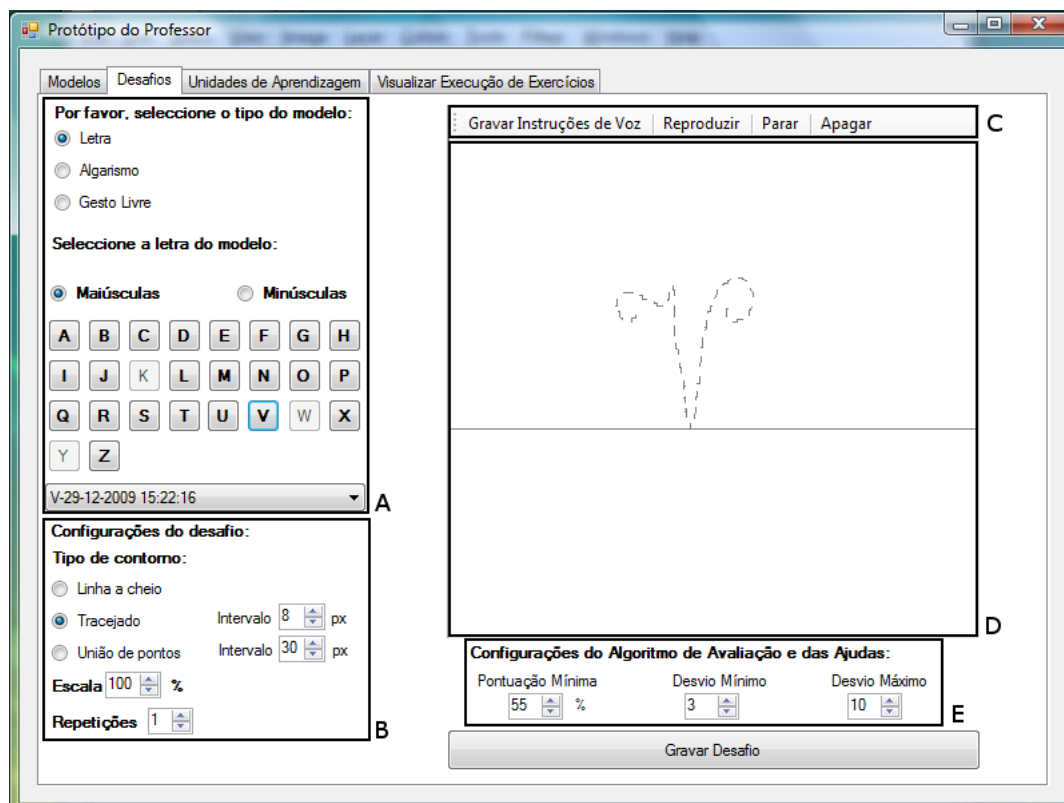


Figura 5.3: Ecrã de definição de Desafios na ferramenta do professor.

A - Identificação do *Modelo* a utilizar Esta área é em tudo muito semelhante à de caracterização de *Modelos*, apresentando o mesmo tipo de comportamentos. No entanto, apenas estarão disponíveis para selecção, os botões com *Modelos* já definidos anteriormente. Dado que não existe limite para o número de *Modelos* definidos para cada letra ou algarismo, existe uma lista de selecção com todos os *Modelos* gravados ordenados pela data de criação dos mesmos (também visível na lista). Assim que esteja seleccionado um *Modelo*, este é apresentado na área de visualização do *Desafio* (identificada na figura em D).

B - Configurações do Desafio Nesta secção é possível efectuar diversos tipos de parametrização de acordo com as premissas iniciais enumeradas no capítulo 3:

1. Tipo do Contorno da linha
2. Intervalo de Espaçamentos (para linhas descontínuas)
3. Escala
4. Repetições

C - Barra de ferramentas para gravação de instruções de voz Compreende quatro funções principais: gravar instruções de voz, reproduzir a última gravação de voz, parar a reprodução ou a gravação e finalmente, apagar a última gravação de voz. Estas

instruções são particularmente úteis quando se pretende que a criança execute uma tarefa sem acompanhamento directo do professor, por exemplo, quando executa trabalhos de casa.

D - Área de visualização do desafio A área de visualização do desafio permite ao professor validar visualmente se as parametrizações que efectuou estão de acordo com as suas expectativas e, caso não estejam, permite-lhe regular os parâmetros anteriores com actualização automática do aspecto do *Modelo*.

E - Configurações do Algoritmo de Avaliação e das Ajudas Particularmente importante para o comportamento da interface do aluno é a definição dos parâmetros que irão alimentar os algoritmos de avaliação e de ajuda à criança durante a execução dos exercícios. Estes parâmetros são os seguintes:

1. Pontuação Mínima para Sucesso
2. Desvios Mínimo e Máximo

A gravação do desafio é efectuada ao pressionar o botão Gravar Desafio e consiste na criação de um ficheiro XML, cuja estrutura foi já apresentada na secção 4.2 do capítulo anterior. O nome do ficheiro é constituído pela data de criação do desafio em formato de data universal.

Após a gravação do *Desafio*, este encontra-se apto a ser considerado na composição de uma unidade de aprendizagem.

Unidades de Aprendizagem

Unidade de Aprendizagem é o conjunto de *Desafios* a ser apresentado à criança para treinamento das suas habilidades caligráficas. O professor tem à sua disposição todos os desafios por ele definidos anteriormente e, conforme indica a imagem 5.4, adiciona-os face às características listadas, de acordo com o seu objectivo.

Neste ecrã da ferramenta do professor, para cada *Modelo* de gesto, são listados na grelha todos os desafios criados com as respectivas caracterizações. Ao adicionar um desafio à unidade de aprendizagem em construção, é apresentado do lado direito do ecrã a forma miniaturizada de como o desafio será apresentado à criança.

Uma vez definidos todos os *Desafios* a apresentar, a gravação da unidade de aprendizagem é um processo muito semelhante aos anteriores processos de gravação de *Modelos* e de *Desafios*: é gerado um ficheiro em formato XML, cujo nome é dado pela data de criação do mesmo no formato de tempo universal coordenado. A unidade de aprendizagem encontra-se agora pronta para poder ser executada pelo protótipo do aluno. No capítulo 4 secção 4.3 desenvolve o modo de funcionamento dos mecanismos de registo de informação e de integração dos ficheiros entre as várias componentes da plataforma IWA.

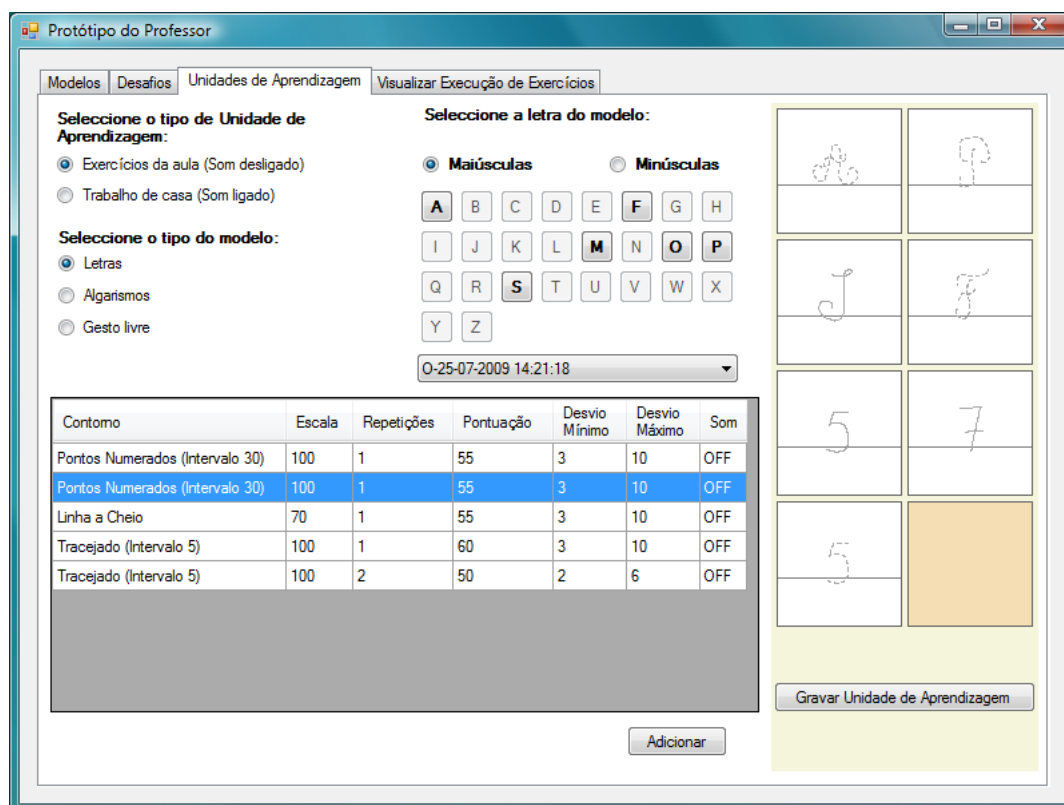


Figura 5.4: Ecrã de definição de Unidades de Aprendizagem na ferramenta do professor.

5.1.2 Visualização e validação da execução de exercícios

A componente de visualização da execução de exercícios é fundamental para permitir ao professor efectuar o acompanhamento da evolução da criança à medida que esta executa as *Unidades de Aprendizagem*.

Esta interface, para além de possibilitar a visualização da simulação da execução dos desafios, fornece também um conjunto de métricas importantes para o professor identificar erros e falhas, permitindo-lhe, assim que possível, efectuar diligências junto da criança para lhe fornecer o apoio necessário. Na figura 5.5 encontra-se ilustrado um exemplo de visualização da realização de um exercício, no qual são facilmente identificáveis as métricas do número de vezes que a criança levantou a caneta para executar o exercício, o tempo de execução, a percentagem da classificação obtida pela aplicação do algoritmo e a indicação se este valor se encontra acima ou abaixo do limite definido pelo professor quando da definição do desafio.

Para além das principais métricas directamente observáveis na grelha do ecrã da figura 5.5, o professor tem também à sua disposição a possibilidade de visualizar a reprodução do gesto que a criança executou. Deste modo, ser-lhe-á mais simples a identificação de problemas como por exemplo, a escrita invertida e em espelho, que muitas vezes está associada a condições de dislexia. É ainda apresentado graficamente um indicador de

The screenshot shows a software window titled 'Protótipo do Professor'. It has a tabbed interface with 'Visualizar Execução de Exercícios' selected. Below the tabs is a table with the following data:

Data	Desafio	#Leva Lápis	Tempo Execução	Pontuaç	Classificação
25-07-2009 14:02:27	t_128918996966466000.xml(DashedLine interval-5 Scale-100 Repetitions-2)	0	1,52 s	0 %	KO
25-07-2009 14:02:45	t_128918996966466000.xml(DashedLine interval-5 Scale-100 Repetitions-2)	0	0,78 s	0 %	KO
25-07-2009 14:03:03	t_128918996966466000.xml(DashedLine interval-5 Scale-100 Repetitions-2)	0	1,02 s	0 %	KO
25-07-2009 14:03:42	t_128918996966466000.xml(DashedLine interval-5 Scale-100 Repetitions-2)	1	20,98 s	18,42 %	KO
25-07-2009 14:04:09	t_128918996966466000.xml(DashedLine interval-5 Scale-100 Repetitions-2)	1	7,49 s	59,75 %	OK
25-07-2009 14:26:12	O_128930016782472000.xml(PointedLine interval-30 Scale-100 Repetitions-2)	2	17,11 s	68,7 %	OK
25-07-2009 14:26:54	O_128930016782472000.xml(PointedLine interval-30 Scale-100 Repetitions-2)	0	4,04 s	58,78 %	OK
25-07-2009 14:27:18	S_128930003019056000.xml(DashedLine interval-5 Scale-100 Repetitions-1)	0	4,32 s	54,34 %	KO
25-07-2009 14:27:42	S_128930003019056000.xml(DashedLine interval-5 Scale-100 Repetitions-1)	3	10,3 s	73,71 %	OK

Below the table is a button labeled 'Visualizar Exercício'. To the right of the button is a diagram showing a hand-drawn shape on a grid, with points numbered 1 through 8 and arrows indicating the sequence of strokes.

Figura 5.5: Ecrã de visualização da realização de exercícios na ferramenta do professor.

levantamento de caneta e respectivo ponto de ataque posterior, melhorando a apreensão do conhecimento que o professor possa extrair da visualização.

5.2 Protótipo do aluno

Para os alunos, o protótipo produzido oferece uma interface gráfica rica para a apresentação dos conteúdos definidos pelo professor. A apresentação de exercícios foi pensada para que se realizasse de um modo intuitivo dado o grau de iliteracia da população alvo. Nesta fase, a aprendizagem da leitura, embora preconize de algum modo a aprendizagem da escrita, ainda será muito arcaica. Por este motivo, durante a execução dos exercícios as crianças são orientadas pelas instruções do professor (gravadas ou fornecidas in loco) e pelos mecanismos de ajuda existentes nesta componente da plataforma. De um modo muito interativo, esta interface fornece também retorno imediato do desempenho da criança através da apresentação gráfica e sonora da classificação obtida.

Após a exibição do desafio, os alunos executam as tarefas a ele associadas e, quando terminam, solicitam a valorização do sistema face à sua prestação. Cada desafio ultrapassado pela criança resulta numa recompensa imediata e na disponibilização de novos desafios.

Nas secções seguintes serão abordados os temas relativos à estrutura da interface e seu

modo de utilização e aos mecanismos de retorno existentes.

5.2.1 Execução de exercícios

A componente gráfica desenvolvida para permitir às crianças a execução dos desafios e aqui apresentada é o resultado de uma segunda iteração de desenho da mesma. No desenho inicial da mesma, os elementos que a compõem encontravam-se dispostos de um modo que, para o modelo do utilizador destro, se verificava um elevado grau de oclusão das áreas funcionais. O desenho final desta interface compreende três áreas funcionais dispostos conforme mostra a figura 5.6:

- A No topo, encontra-se uma área constituída por um conjunto de botões com imagens desfocadas. Esta é uma zona da interface reservada para o controlo da apresentação dos exercícios, sendo que a cada botão está associado um *Desafio*. As imagens desfocadas indiciam as recompensas a obter caso a criança ultrapasse o *Desafio* associado.
- B À esquerda encontra-se uma barra de progresso colorida que fornece a classificação do gesto executado pela criança face ao *Desafio* correspondente. Esta barra de progresso é um dos controlos que compõem a plataforma IWA descrita na subsecção 4.3.4 do capítulo 4.
- C Finalmente, ocupando a maior área desta interface encontra-se uma área de trabalho com uma linha guia horizontal, onde serão apresentados os desafios e executadas as tarefas.

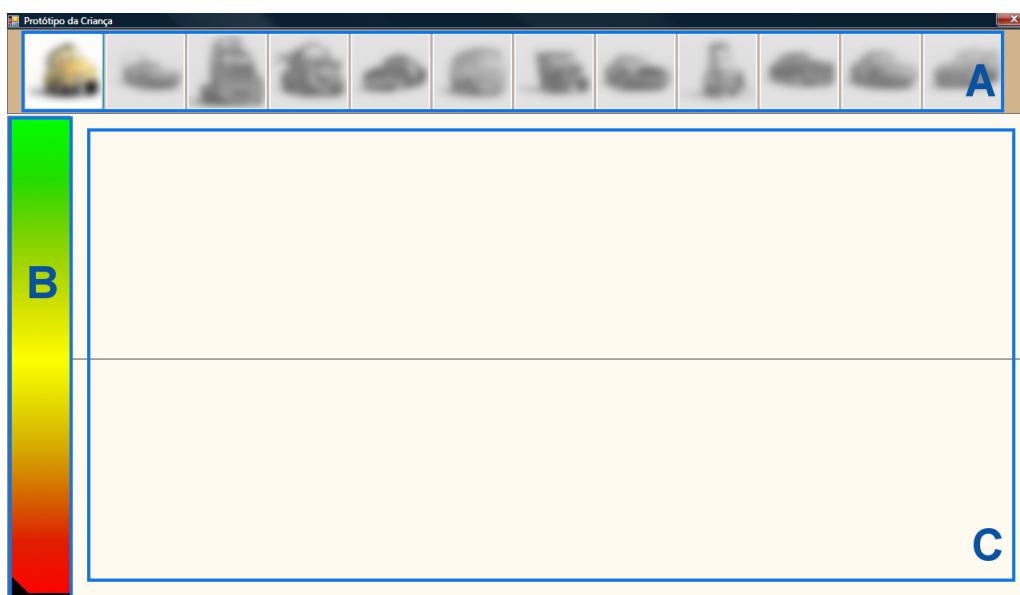


Figura 5.6: Interface do aluno.

A execução dos exercícios pela criança segue uma sequência de acções precisa na qual ela, para poder visualizar todos os desafios, terá de pressionar todos os botões da barra superior. Ao iniciar a execução da sua *Unidade de Aprendizagem*, a criança apenas terá disponível o primeiro desafio logo, o primeiro botão, e todas as imagens dos botões apresentados (os activos são coloridos e os inactivos são apresentados em escala cinza) são desfocadas, mantendo uma dúvida e uma espera saudável na criança para identificar a recompensa.

Ao pressionar um botão activo, o desafio correspondente é apresentado através de uma animação exemplificando a forma como deve ser repetido o gesto gravado pelo professor. Nas situações em que o professor define que a *Unidade de Aprendizagem* corresponde ao conjunto de exercícios do trabalho de casa, é reproduzida a instrução de voz associada a cada *Desafio* (caso exista). No caso de se tratar de uma *Unidade de Aprendizagem* para executar durante a aula de grupo na sala de aula, mesmo que para cada *Desafio* o professor tenha definido instruções de voz, estas não serão reproduzidas, sendo nesta situação fundamental que sejam fornecidas no momento pelo professor.

Assim que a animação termina, é reproduzido um sinal sonoro indicador de que a criança deverá iniciar a execução do exercício. Caso a criança tenha alguma dúvida, pode, sempre que sentir necessidade, solicitar nova repetição da animação pressionando o botão correspondente ao *Desafio*.

Durante a execução dos exercícios a criança é auxiliada pelos mecanismos de auxílio em tempo real disponibilizados pelo painel que implementa a sua área de trabalho. Estes mecanismos de ajuda encontram-se descritos no capítulo 4.

Uma vez concluída a execução, a criança solicita uma avaliação do seu desempenho à aplicação pressionando sobre a barra de progresso colorida. O comportamento deste controlo encontra-se especificado no capítulo de Desenho da Solução, subsecção 4.3.4. Caso o resultado obtido corresponda a um insucesso, o sistema apresenta novamente o mesmo exercício para que seja repetido e aperfeiçoado; Caso se trate de um sucesso é reproduzido um som de sucesso. Se o aluno tiver obtido aproveitamento positivo o número de vezes indicado pelo professor na definição do *Desafio*, o sistema apresenta uma recompensa desbloqueando o *Desafio* seguinte através da activação do botão seguinte. A recompensa, exemplificada na figura 5.7, consiste na apresentação da imagem correspondente ao botão do *Desafio*. Finalizado o exercício, a imagem do botão torna-se nítida, e o botão seguinte é disponibilizado. Deste modo, cria-se uma envolvência na criança, motivando-a a alcançar bons resultados para assim desbloquear novos *Desafio*.

Para cada desafio avaliado, é gerado um ficheiro independente com toda a informação que lhe corresponde socorrendo-se das bibliotecas descritas na secção da Plataforma IWA. Deste modo, toda a informação é guardada para posterior validação pelo professor.



Figura 5.7: Ecrã com exemplificação de recompensa.

5.3 Resumo

A implementação da arquitectura proposta no capítulo anterior materializou-se na forma de dois protótipos de ferramentas de sustentação das tarefas do professor na definição de exercícios e de suporte à execução dos exercícios pelos alunos.

A ferramenta do professor fornece uma base para a configuração de *Unidades de Aprendizagem* através da definição dos elementos que lhe estão subjacentes: *Desafios* e *Modelos*. Esta ferramenta possui ainda a funcionalidade de visualização da execução dos exercícios pelos alunos enriquecida com a formalização de alguns indicadores automáticos importantes para a análise dos gestos.

O protótipo das crianças é uma ferramenta que faz uso das potencialidades gráficas dos controlos definidos na plataforma e dos mecanismos de auxílio em tempo real. Este sistema possui uma interface gráfica simples e possibilita a realização de exercícios bem como a indicação das classificações obtidas em cada execução.

Capítulo 6

Resultados

A plataforma descrita no capítulo anterior, foi submetida a um conjunto de testes para avaliação de toda a lógica que lhe está subjacente e para validação das opções de desenho e da usabilidade das interfaces das duas ferramentas desenvolvidas. Para além destes aspectos, foram também equacionados os pressupostos de melhoria das capacidades de coordenação motora associadas à escrita subjacentes a este trabalho, através da análise qualitativa dos resultados obtidos após utilização da componente específica ao aluno.

As avaliações efectuadas consistiram em entrevistas informais a uma professora primária, formadora de professores primários, a respeito das duas ferramentas, para professores e alunos, e em sessões de testes de usabilidade, com crianças, que incidiram apenas na interface da ferramentas destinada aos alunos. Em todas elas foi autorizada a gravação em vídeo, que no caso das entrevistas serviu para colher toda a informação relevante e nas sessões de testes foi usada para efectuar uma apreciação do nível de stress apresentado pelas crianças. O equipamento de suporte para as demonstrações e para as actividades executadas durante as sessões de testes foi: um computador tablet LG P100 com ecrã táctil de 10.6" e resolução de 1280 por 768. Nas sessões de testes em que participaram crianças, os pais ou os responsáveis por elas estiveram presentes.

Nas secções seguintes apresentam-se os processos de avaliação, em duas partes: da interface do professor e da interface do aluno. São apresentados os resultados da aplicação de métricas quantitativas, bem como resultados qualitativos directamente decorrentes das entrevistas, e finalmente, é feita uma discussão dos resultados obtidos.

6.1 Avaliação do protótipo do professor

A sessão de avaliação do protótipo efectuado para os tutores, baseou-se numa entrevista informal à professora que participou e contribuiu para este projecto.

Esta entrevista iniciou-se com uma pequena introdução à ferramenta acompanhada de uma demonstração das suas funcionalidades. Foram definidos os principais conceitos da plataforma e a forma como estes se relacionam. A interface gráfica foi descrita e

explicado o seu modo de funcionamento.

Seguiu-se a criação dos modelos dos diversos tipos e subtipos que formaram a base para a criação dos desafios utilizados na unidade de aprendizagem da demonstração. Durante esta apresentação, a professora teceu alguns comentários e colocou algumas questões de elevada relevância relativos à concepção das unidades de aprendizagem:

- Durante a exemplificação da criação de modelos, a professora sugeriu que a gravação de instruções gráficas (como setas que ilustrem o sentido do movimento) a apresentar em simultâneo à animação da execução do modelo poderia ser benéfico aumentando assim o entendimento da criança. Esta sugestão é efectivamente muito interessante, podendo ainda ser enriquecida com gravação de instruções de voz que contextualizassem a criança e captassem a sua atenção durante o período de observação da execução do desafio.
- Quando da exemplificação da funcionalidade de união de pontos numerados, esta observou, que seria necessário ter em atenção o grau de conhecimentos das crianças, pois não seria lógico que este tipo específico de tarefa fosse solicitado a uma criança que ainda não conhecesse os algarismos, o seu significado e ordem lógica. Face a esta constatação foi esclarecido que o professor terá total liberdade para conceber os exercícios do modo que lhe parecer mais adequado, sendo portanto da sua responsabilidade a escolha das tarefas a executar pelos alunos.
- A professora referiu também a importância das funcionalidades de escala dos modelos dado que só assim será possível o treino da motricidade fina e muito fina.

Após a concepção da unidade de aprendizagem, esta foi aplicada no protótipo do aluno para execução da mesma de forma a simular um fluxo de execução global. Terminada a execução simulada dos exercícios estes foram visualizados na última componente da ferramenta do professor tendo sido explicados todos os índices e métricas calculados de forma automática pelo sistema. Foram também realçados os benefícios que a visualização da reprodução da execução do aluno pode trazer na detecção precoce de problemas de aprendizagem da caligrafia.

No final da apresentação a professora enumerou as vantagens da plataforma demonstrada:

- A autonomização tanto da criança como do professor na questão de aperfeiçoamento da caligrafia.
- A flexibilidade que o professor tem em definir o nível de exigência para cada desafio.
- A possibilidade de visualização dos resultados da execução dos desafios pelas crianças e das respectivas leituras factuais permitindo a identificação de casos específicos que possam requerer outro tipo de acompanhamento.

- Aspectos como a forma de validação dos pressupostos de correcção de execução do exercício indicados na subsecção 3.3.2 foram valorizados como determinantes para a correcta aprendizagem da caligrafia.
- Foram realçados os benefícios desta plataforma face a um cenário de impossibilidade de uma criança estar presencialmente na sala de aula, podendo esta dar continuidade ao seu desenvolvimento de um modo remoto (fazendo uso da gravação de instruções de voz).

Como pontos menos positivos, foram apontados:

- A forte dependência da plataforma dos dispositivos físicos utilizados que numa futura implementação obrigaria a algum apoio logístico à criança.
- A necessidade de instruções gráficas em paralelo à animação, funcionalidade não implementada.

Para além dos aspectos apontados pela professora, foi evidente durante esta demonstração que os controlos existentes na interface com área disponível de 800 por 600 pixel, sobrecarregavam o ecrã dificultando a percepção dos mesmos e não eram de todo os apropriados para a utilização da caneta, prejudicando bastante a usabilidade da interface. Face ao exposto, será natural a evolução desta interface de forma a procurar resolver algumas das questões de usabilidade indicadas e a incluir as novas funcionalidades sugeridas pela professora.

6.2 Avaliação do protótipo do aluno

A avaliação da interface do aluno compreendeu três fases: na primeira foi efectuada uma entrevista à professora primária envolvida neste projecto; na segunda foram efectuados algumas sessões de testes de execução de exercícios com crianças; finalmente na última sessão de testes a professora foi novamente entrevistada e a primeira criança participante nas sessões de teste (neta da professora) executou uma unidade de aprendizagem diferente das anteriores elaborada no momento com a colaboração da professora. Cada uma destas fases encontra-se descrita nas subsecções seguintes.

6.2.1 Entrevista inicial com a professora

A primeira sessão de avaliação assumiu a forma de uma entrevista informal à professora. Nela, foi apresentada a missão deste projecto e foi realizada uma demonstração de um desenho inicial da interface dedicada às crianças. Da apreciação à ferramenta demonstrada, foram discutidos alguns conceitos pedagógicos importantes e algumas melhorias relativas à interacção da criança com o sistema:

- Um dos conceitos pedagógicos observado prendeu-se com o tipo de animação a fornecer à criança quando da apresentação do resultado obtido da avaliação do desempenho da criança. Nesta versão do desenho, o indicador do nível da pontuação de desempenho encontrava-se posicionado inicialmente a meio da escala, e conforme o resultado obtido fosse positivo ou negativo, este indicador deslizava pela barra de progresso colorida para cima ou para baixo. Numa situação de classificação negativa, o comportamento depreciativo deste controlo foi desaconselhado pois poderia causar desmotivação à criança.
- Outros aspectos relativos à interface gráfica identificados nesta entrevista referiram-se à necessidade de um cursor que permitisse a captação da atenção da criança durante a apresentação da animação do gesto, e de uma indicação visual do local de início da execução e do sentido da mesma.
- Também a localização da barra de pontuação foi abordada uma vez que para o modelo de utilizador destro ficaria oculta pela colocação natural do braço.

6.2.2 Sessões de avaliação com crianças

A segunda fase de avaliação da componente do aluno contou com a participação de sete crianças em duas sessões: na primeira participou uma menina de 4 anos e na segunda participaram seis crianças com idades compreendidas entre os 3,5 e os 6 anos de idade. Para cada uma das sessões efectuadas foram criados doze desafios distintos sem instruções de voz que constituíram um total de sete unidades de aprendizagem. Todos os desafios foram apresentados a tracejado com cinco pontos, sem qualquer alteração de escala em relação à definição dos modelos. Os modelos utilizados compreendiam grafismos de gestos livres e letras escritas em letra em imprensa e em letra manuscrita. As sessões de avaliação tiveram a duração aproximada de 20 minutos e foram conduzidas num ambiente familiar de modo a causar o menor desconforto possível. As instruções do que era pretendido foram fornecidas às crianças no início e durante a execução dos exercícios, e sempre que se identificou essa necessidade. Basicamente as instruções transmitidas compreendiam:

- Explicação simples do modo de funcionamento, no início e sempre que necessário:
 1. Carregar no botão do desafio pretendido.
 2. Observar a reprodução do gesto.
 3. Aguardar pelo sinal sonoro indicador de término da reprodução.
 4. Observar o ponto de ataque indicado pelo mecanismo de ajuda em tempo real, bem como o sentido de execução do movimento.
 5. Executar o gesto seguindo sempre o tracejado apresentado.

6. Solicitar, quando terminado o gesto, a avaliação ao sistema através do toque sobre a barra de progresso colorida.
 7. Como entender o retorno fornecido pelo sistema através dos sons e da recompensa de sucesso.
 8. Como proceder quando é visualizada a recompensa.
- Chamada de atenção para a criança observar a simulação do exercício.
 - Indicação do desafio que se pretende solicitar.
 - Refrescamento das instruções, nomeadamente em relação à sequência de execução das tarefas.

O sistema avaliado em cada uma das sessões na sua essência era o mesmo, no entanto foram efectuadas algumas melhorias ao nível da usabilidade da interface (reposicionamento de alguns elementos principais) entre uma e outra. As principais diferenças entre as duas versões ficaram a dever-se a uma tentativa de responder de forma adequada às questões levantadas na primeira entrevista à professora e observadas na primeira sessão de testes:

- Para crianças destras, como as que participaram nas sessões de testes, a barra de progresso de avaliação localizada à direita ficava ocultada pelo seu braço dificultando a sua visualização. Para a segunda sessão de avaliação, esta barra foi reposicionada no limite esquerdo do ecrã de modo que ficasse sempre visível pela criança.
- Durante a primeira sessão de testes, verificou-se que a criança não conseguia seguir com a devida atenção a animação que exemplifica a forma de execução da tarefa. A apresentação de um cursor específico (um lápis) durante esta reprodução da animação foi introduzida para assim fixar melhor a atenção da criança. Também na execução dos desafios que requerem multi-traço, muitas vezes a criança ficou sem saber onde continuar a execução do desafio.
- Para a segunda sessão de testes, foi criado um mecanismo de indicação do ponto onde deve ser reiniciado o exercício e do sentido no qual deve ser efectuado o movimento no caso da escrita ter sido interrompida.
- Finalmente, também foi efectuado um reajuste do nível inicial da barra de progresso que ocupava posição central correspondente à pontuação de 50%. Por representar a pontuação a partir da qual se desbloqueia o exercício seguinte, esta apresentação poderia desmotivar a criança no caso de a sua classificação não ser positiva, despoletando o movimento descendente do nível na barra. Esta situação foi corrigida antes da segunda avaliação, tendo sido colocado o nível inicial sempre no fundo da barra de progresso.

Durante os testes de validação da interface do aluno, verificou-se que as duas crianças que participaram com idades inferiores a 4 anos de idade, ainda não possuíam o nível de maturidade necessário para a utilização do sistema. Estas crianças não conseguiram sequer concluir as unidades de aprendizagem definidas, apresentando elevada taxa de insucesso que atingiu algumas vezes o limiar de frustração. Este facto deveu-se às seguintes condicionantes:

1. A destreza de movimentos nessa classe etária ainda é muito primária sendo difícil o manuseamento correcto da caneta. Verificou-se que os movimentos efectuados pelas crianças desta idade eram bruscos e pouco precisos. Além do mais, estas crianças revelaram grandes dificuldades no que respeita à escrita no dispositivo pois não seguravam na caneta com a firmeza necessária e não efectuavam a pressão suficiente para que a superfície de toque captasse o sinal.
2. A motivação à aprendizagem ainda é muito reduzida. Talvez porque as crianças que participaram nos testes com esta idade não estavam integradas em ambiente de jardim de infância e portanto não estavam predispostas à aprendizagem e execução de tarefas para aprender a escrever.
3. A percepção dos estímulos do sistema é pouco desenvolvida. Para as crianças desta idade foi necessário fornecer instruções extra com muito mais frequência do que para as outras crianças: foi necessário explicar várias vezes os mecanismos de ajuda em tempo real sem que os conceitos fossem totalmente interiorizados.

Por outro lado, as crianças com idades superiores a 4 anos indicaram que gostaram muito de receber retorno do sistema a respeito das suas prestações e na sua maioria, por iniciativa própria, quiseram repetir os desafios mesmo depois de os terem completado com sucesso uma vez. Foi então possível obter resultados de duas rondas por unidade de aprendizagem. Após os testes, os resultados e dados recolhidos foram processados e analisados. As métricas apresentadas foram extraídas directamente pelo sistema e correspondem às disponibilizadas na ferramenta dos professores no módulo relativo à visualização de execução de exercícios:

- Pontuação em valor percentual obtida pela aplicação do algoritmo de avaliação dos gestos executados face ao modelo do professor para os desafios bem sucedidos.
- Número de tentativas de execução do desafio até alcançar a pontuação mínima de sucesso, nestas sessões definida a 50%.
- Duração em segundos de execução dos desafios bem sucedidos.
- Número de levantamentos suplementares executados pela criança nos desafios bem sucedidos em relação ao número de levantamentos definidos no modelo gravado pelo professor.

Os gráficos que se seguem apresentam os resultados obtidos para as quatro medidas sistematizadas no parágrafo anterior, aplicados nas duas rondas de execuções efectuadas. Em cada gráfico, são identificados no eixo horizontal os modelos usados nos desafios compreendidos em cada unidade de aprendizagem executada. Os desafios identificados com GL*, correspondem a Gestos Livres.

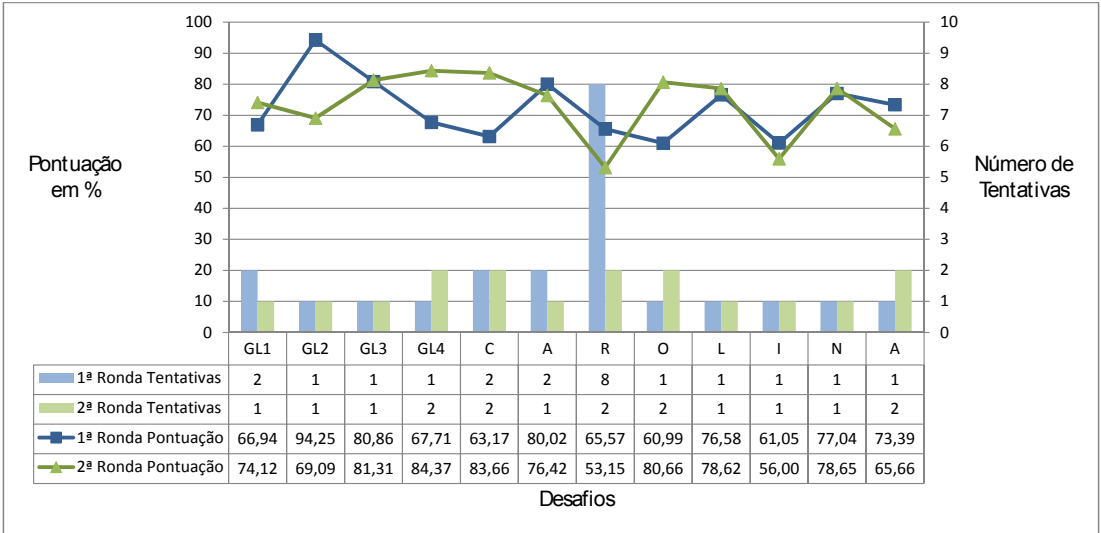


Figura 6.1: Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do primeiro participante no teste.

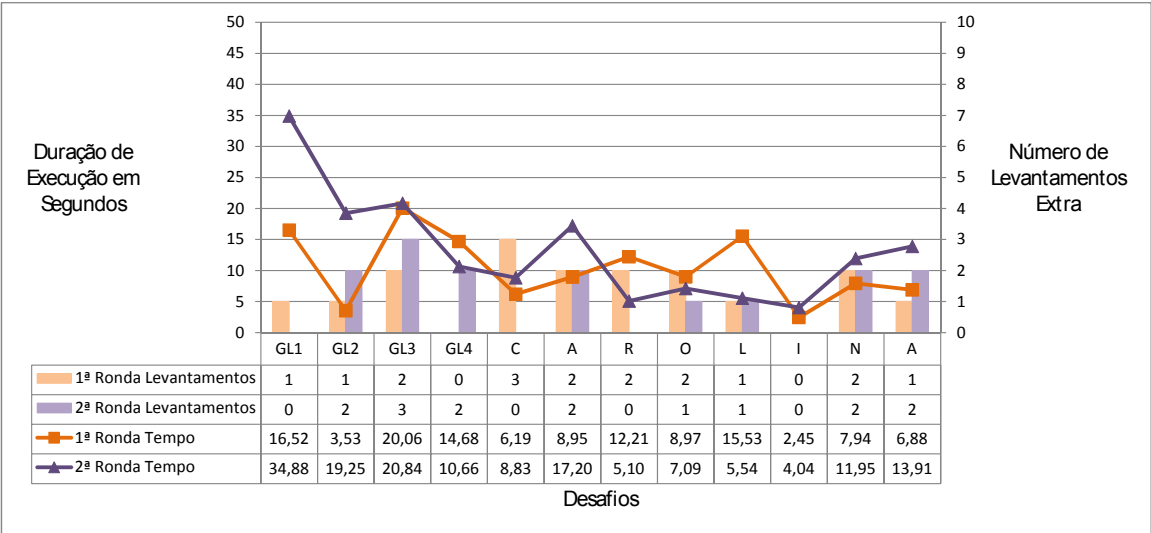


Figura 6.2: Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do primeiro participante no teste.

Os resultados apresentados nas figuras 6.1 e 6.2 foram obtidos na primeira sessão de testes sobre a primeira versão de desenho deste protótipo, na qual participou a menina de 4 anos. No gráfico da figura 6.1 observa-se que entre rondas a criança conseguiu melhorar

a sua pontuação em sete dos doze desafios que lhe foram apresentados, correspondendo a uma melhoria de desempenho em cerca de 58% dos casos. Aplicando o mesmo raciocínio ao número de tentativas efectuadas até alcançar sucesso em cada desafio, verificou-se que em 58% dos desafios a criança superou na primeira tentativa e em 75% a criança manteve ou diminuiu este número, denotando uma melhoria significativa do seu desempenho.

O gráfico de comparação dos tempos de execução e dos números de levantamentos extra da figura 6.2, revela ainda que em oito dos doze desafios a criança manteve ou diminuiu o número de levantamentos extra. Contudo aumentou os tempos de execução dos exercícios, muito provavelmente na tentativa de melhorar o seu desempenho.

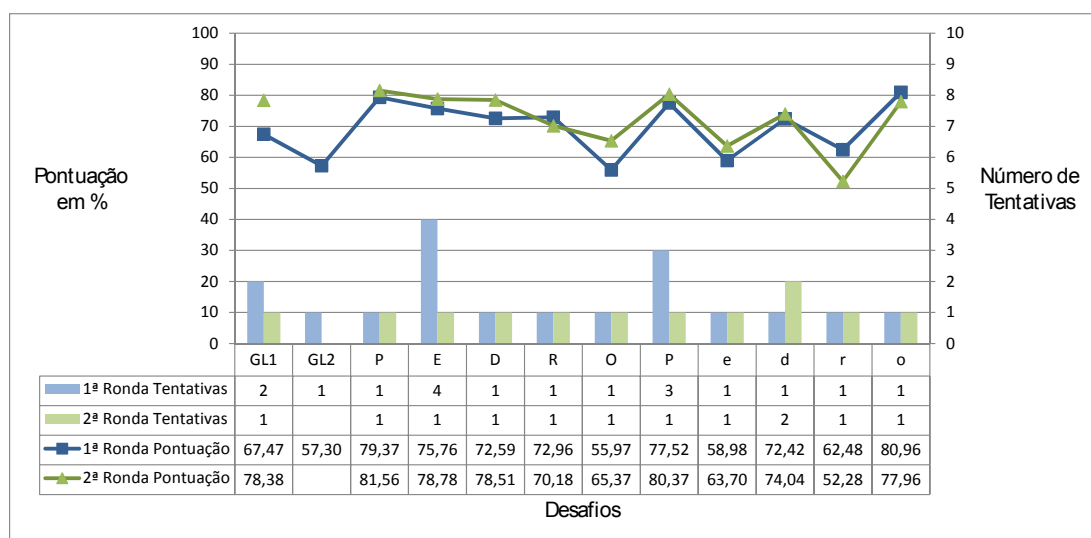


Figura 6.3: Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do segundo participante no teste.

Os resultados apresentados nas figuras 6.3 e 6.4 foram obtidos na segunda sessão de testes sobre a segunda versão de desenho deste protótipo. De notar que neste teste, apenas foi possível obter onze resultados relativos à segunda ronda por dificuldades técnicas. De forma semelhante à primeira sessão de testes, verifica-se que entre rondas a criança de 4,5 anos de idade conseguiu melhorar a sua pontuação em oito dos onze desafios que lhe foram apresentados, correspondendo a uma melhoria de desempenho em cerca de 73% dos casos. Relativamente ao número de tentativas efectuadas até alcançar sucesso em cada desafio, verificou-se que 91% dos desafios foram superados na primeira tentativa e que a criança diminuiu este indicador em três dos desafios apresentados, revelando assim uma melhoria significativa do seu desempenho.

No gráfico da figura 6.4 verifica-se a mesma tendência: nove em onze desafios foram executados perfeitamente de acordo com o modelo gravado face à execução destes desafios sem levantamentos extra. Relativamente aos tempos de execução destas unidades de aprendizagem não é possível extrair qualquer relação entre rondas uma vez que não apresentaram uma tendência definida.

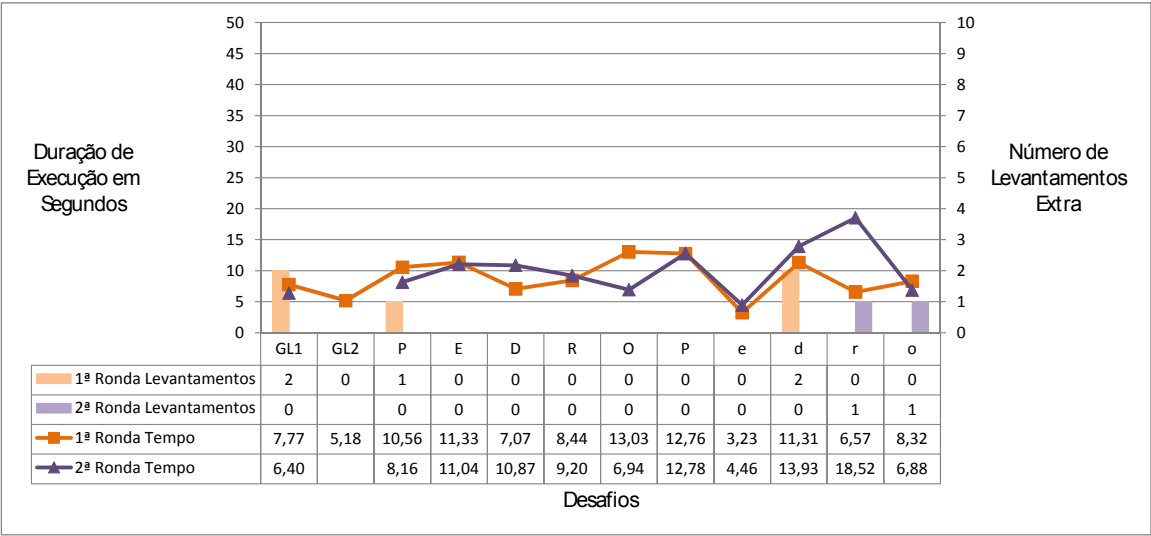


Figura 6.4: Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do segundo participante no teste.

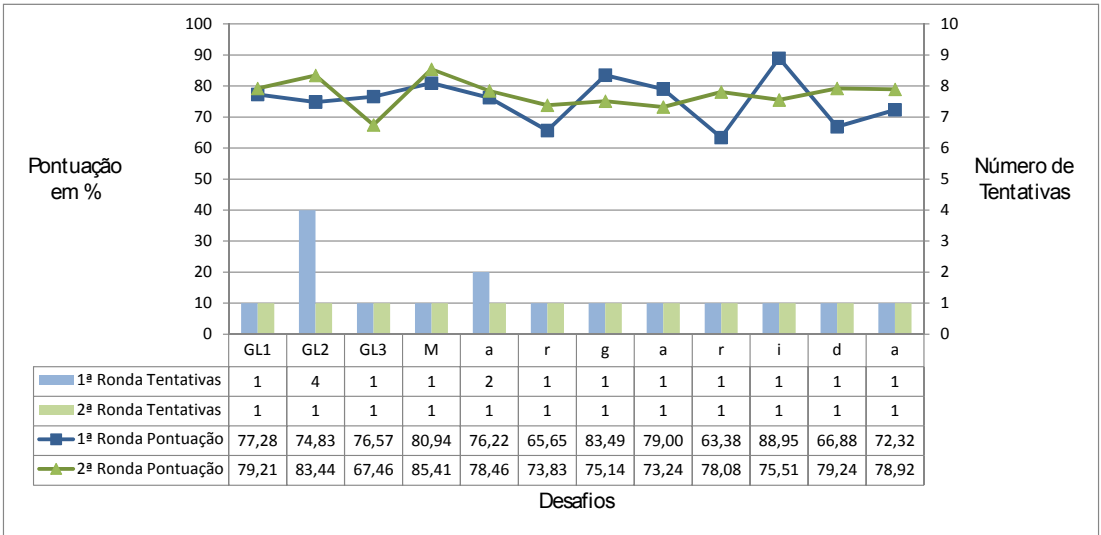


Figura 6.5: Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do terceiro participante no teste.

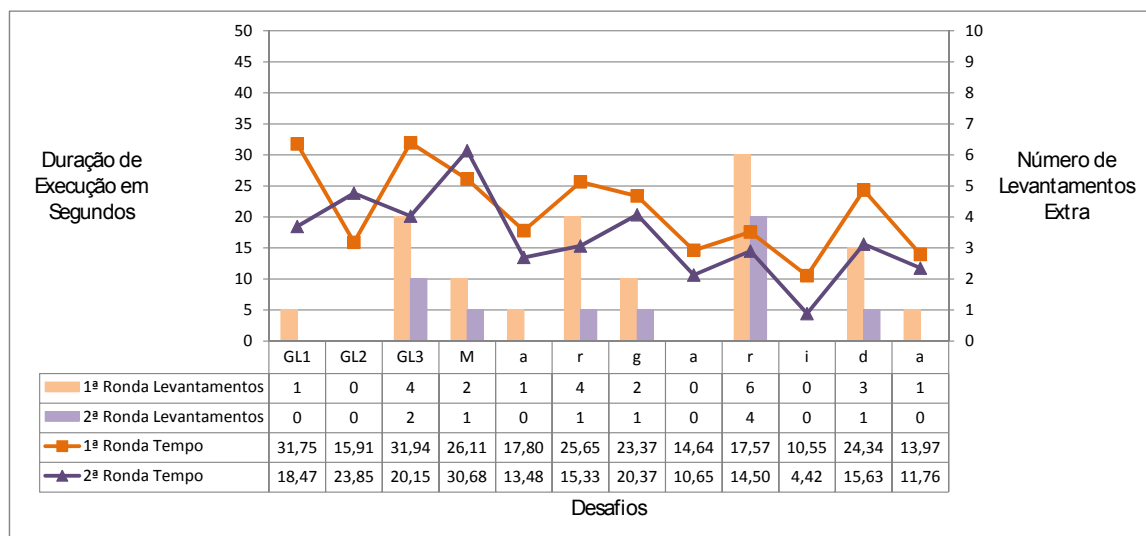


Figura 6.6: Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do terceiro participante no teste.

Os gráficos apresentados nas figuras 6.5 e 6.6, reflectem os resultados da participação de uma criança de 5 anos de idade. Também neste teste, a criança conseguiu melhorar a sua pontuação em oito dos onze desafios que lhe foram apresentados, correspondendo a uma melhoria de 67% dos desafios. Relativamente ao número de tentativas efectuadas até alcançar sucesso em cada desafio, verificou-se que 100% dos desafios executados na segunda ronda foram superados na primeira tentativa e que a criança reduziu este indicador em dois dos desafios apresentados, revelando assim uma melhoria significativa do seu desempenho.

A figura 6.6 salienta que a criança manteve ou reduziu o número de levantamentos efectuados para executar o desafio em 100% das execuções e que, entre as duas rondas reduziu o tempo de execução em cerca de 83% dos desafios (dez em doze desafios).

Os resultados da experiência da quarta criança de 6 anos de idade encontram-se apresentados nas figuras 6.7 e 6.8. Numa breve análise ao gráfico 6.7, verifica-se que as pontuações obtidas nos desafios tiveram uma evolução positiva em cerca de 75% dos desafios executados (nove dos doze desafios). Por outro lado, observou-se uma tendência muito forte para a redução do número de tentativas para execução dos exercícios. Na verdade, na segunda ronda executada a criança manteve ou melhorou o número de tentativas efectuadas em 100% dos desafios.

O gráfico da figura 6.8 apresenta os resultados relativos aos tempos de execução e ao número de levantamentos executados para cada desafio executado com sucesso. Verificou-se que na segunda ronda houve uma redução da duração de execução em nove dos desafios (75%) e que em comparação com a primeira ronda, na qual nenhum desafio foi executado sem levantamentos extra, a criança conseguiu executar 25% dos desafios sem levantamentos extra. Mais uma vez, os resultados obtidos apontam para uma melho-

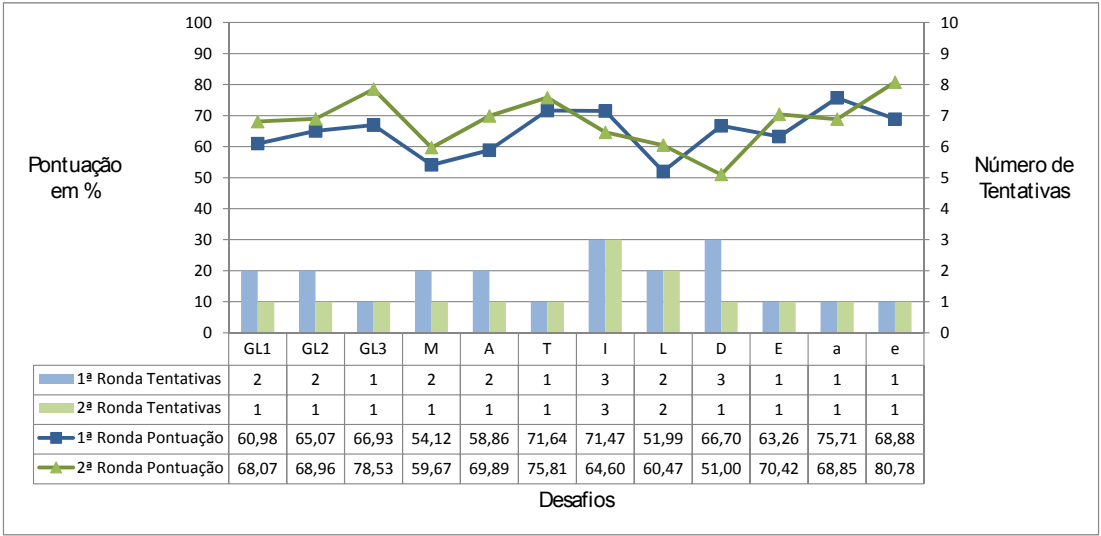


Figura 6.7: Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do quarto participante no teste.

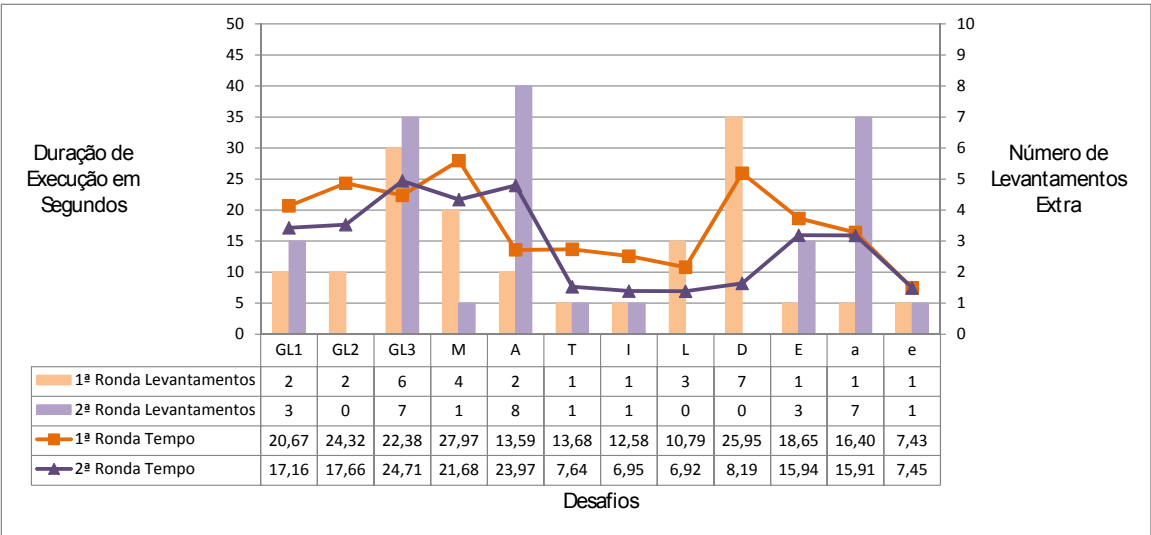


Figura 6.8: Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do quarto participante no teste.

ria do desempenho da criança entre rondas.

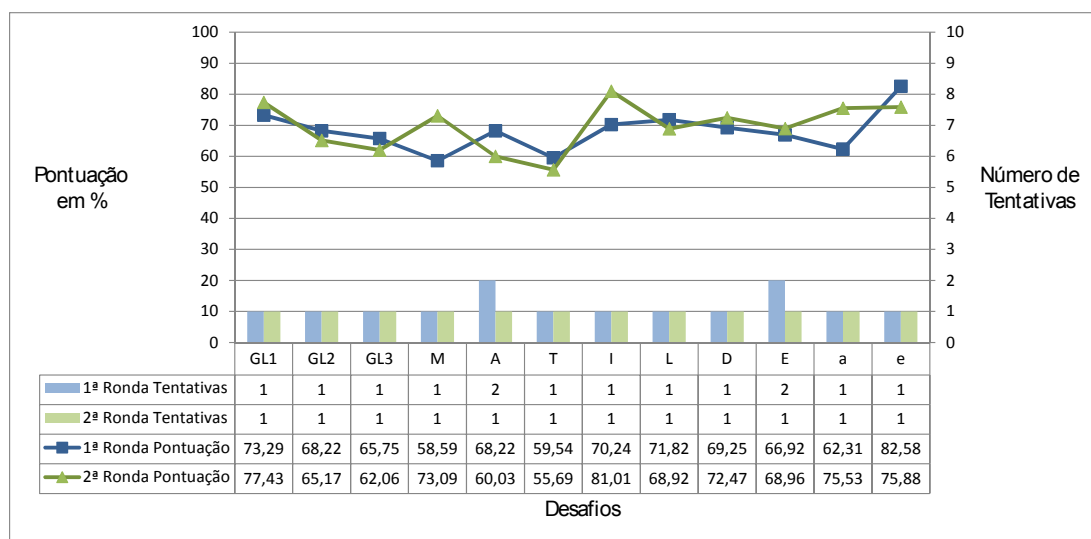


Figura 6.9: Pontuações de sucesso obtidas e número de tentativas para todos os desafios do quinto participante no teste.

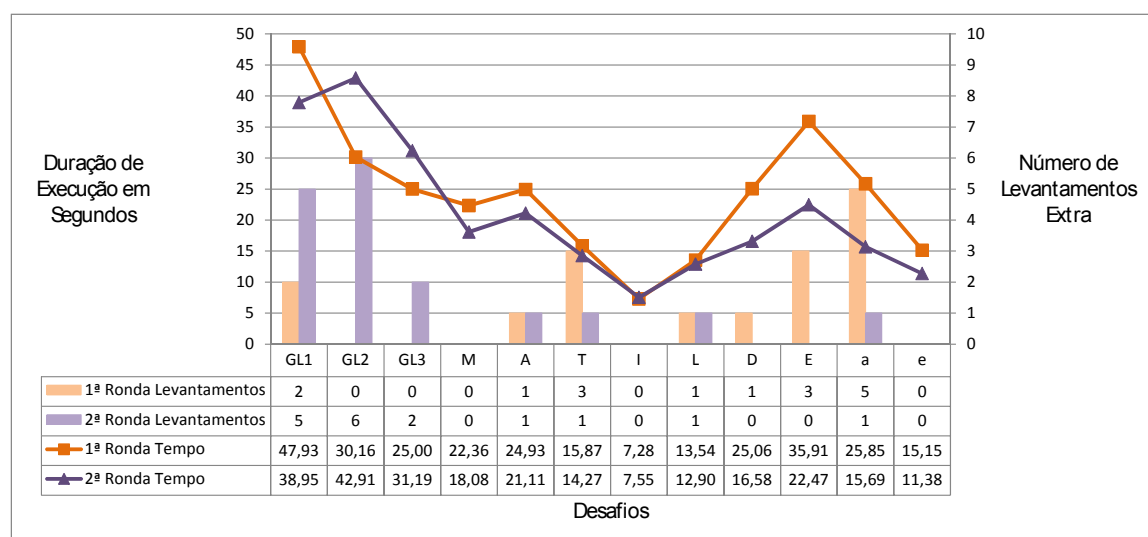


Figura 6.10: Tempos de execução e número de levantamentos extra para todos os desafios do quinto participante no teste.

Finalmente, o último teste contou com a participação de uma criança de 5 anos de idade. Na figura 6.9 verifica-se que as pontuações obtidas apresentaram grande variação, não sendo possível definir uma tendência muito vincada. Contudo, em termos de redução do número de tentativas para execução dos exercícios, a criança conseguiu na segunda ronda executar com sucesso todos os desafios na primeira tentativa, apresentando um aumento de 25% em relação à primeira ronda.

O gráfico da figura 6.10 reúne os resultados relativos aos tempos de execução e ao número de levantamentos executados para cada desafio executado com sucesso. Para esta

criança verificou-se que na segunda ronda houve uma redução da duração de execução em nove dos desafios (75%) e que conseguiu executar 75% dos desafios mantendo ou reduzindo o número de levantamentos extra efectuados.

De modo a tornar-se mais simples a comparação das evoluções salientadas anteriormente, sistematizou-se os principais indicadores na tabela 6.1.

Idade	Porcentagem de Desafios entre a 1ª e a 2ª ronda			
	Melhoria de Pontuação	Melhoria de Tentativas	Redução de Tempo	Redução de Levantamentos
4	58%	75%	33%	67%
4,5	73%	91%	45%	82%
5	67%	100%	83%	100%
6	75%	100%	75%	58%
5	50%	100%	75%	75%

Tabela 6.1: Tabela de indicadores percentuais comparativa das duas rondas efectuadas nas sessões de testes.

Aplicando operações estatísticas de cálculo de médias aos resultados apresentados nos gráficos anteriores, obtêm-se os indicadores espelhados na tabela 6.2: a média das pontuações obtidas nos desafios com sucesso, o número médio de tentativas (execuções de desafios) até atingir sucesso, a duração média em segundos de execução de cada exercício com sucesso e o número de levantamentos extra executados pela criança em cada execução com sucesso.

Idade	Média da Pontuação (Sucessos)		Média de Tentativas		Média de Tempo (Sucessos)		Média de Levantamentos (Sucessos)	
	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
4	72,13	73,48	1,75	1,50	10,32	10,66	1,42	1,25
4,5	69,16	72,83	1,50	1,20	8,79	9,93	0,42	0,18
5	75,52	77,38	1,25	1,00	21,61	21,68	2,18	1,08
6	64,63	68,09	1,75	1,25	17,87	14,81	2,58	2,67
5	68,06	69,69	1,17	1,00	24,08	21,09	1,33	1,42

Tabela 6.2: Tabela de resultados das duas rondas executadas nas sessões de testes.

Através da observação imediata dos resultados obtidos entre as duas rondas de exercícios em cada sessão, identifica-se o seguinte:

- Melhoria da média de pontuação de sucesso
- Redução significativa do número de tentativas por cada *Desafio*
- Tendência para manter o mesmo tempo de execução dos *Desafios*
- Redução do número de levantamentos extraordinários executados

Embora os resultados não sejam estatisticamente significativos, tendo em conta o número de testes que foi possível fazer, esse mesmo número indicia já uma tendência na alteração do desempenho das crianças. De facto, entre as rondas, é notória a melhoria do seu desempenho tanto ao nível do aumento das pontuações atribuídas pelo algoritmo, quanto ao nível da redução significativa do número médio de tentativas.

Relativamente aos sujeitos com níveis de instrução mais avançados, foi notório que o nível de dificuldade estático exigido pelo algoritmo (50% de pontuação) funcionou como factor desmotivador face ao seu grau de maturidade nas tarefas que lhes foram apresentadas.

Outra questão importante pode estar associada à não indicação visual do nível de pontuação que desbloqueia os exercícios seguintes. A criação deste indicador visual na barra de progresso de pontuação ajudaria a garantir uma relação de confiança, livre de suspeições entre a criança e o sistema.

Durante os testes, as crianças encararam o sistema como um jogo e apresentaram-se com uma postura muito descontraída e sem nervosismo e preocupação, indiciando níveis de stress muito reduzidos. As suas reacções foram sempre muito entusiásticas mesmo quando lhes era requerido que repetissem os exercícios, ficando expectantes durante o retorno da pontuação obtida. Por livre iniciativa a maioria dos participantes solicitou a repetição dos *Desafios*, gerando assim os resultados da segunda ronda.

6.2.3 Entrevista final com a professora

A última sessão de avaliação baseou-se numa entrevista à professora a respeito desta interface. Mais uma vez, esta referiu a importância da funcionalidade de escala dos gestos de modo a refinar as capacidades de motricidade fina e da correcta contextualização dos desafios de acordo com os conhecimentos anteriores da criança e, face aos mecanismos de auxílio indicou que estes fornecem uma resposta adequada para os diversos tipos de erros possíveis durante a execução dos exercícios. Especificamente ao mecanismo de ajuda de alteração progressiva do tamanho e da cor do traço, a professora acrescentou que se tratava de uma óptima funcionalidade com grande utilidade para as crianças. Novamente foi indicado que as instruções gráficas do professor em reforço dos restantes mecanismos de auxílio poderiam ser muito úteis à criança durante a execução dos mesmos, evitando possíveis situações de bloqueio e frustração da mesma.

Nesta última sessão de avaliação do sistema, a menina que participou na primeira sessão de testes, agora com a idade de 4,5 anos, pediu para brincar a escrever letras e para isso foi construída uma unidade de aprendizagem com desafios de diversos tipos e com instruções por voz. Decorridos cerca de 6 meses entre as duas sessões em que participou, foi muito interessante perceber que a criança ainda se lembrava da aplicação e que se mostrou muito interessada e entusiasmada com a possibilidade de poder repetir a experiência de executar *Desafios*. Apesar de esta já estar familiarizada com a interface, a mesma

foi-lhe novamente apresentada mas de um modo mais ligeiro e foram-lhe fornecidas algumas instruções durante a experimentação. A unidade de aprendizagem testada nesta fase compreendia apenas 5 desafios de todos os tipos e diversas tarefas. Dado tratar-se de um teste único, não serão apresentados de forma sistematizada os resultados obtidos. Contudo, verificou-se uma evolução significativa da execução de um dos *Desafios* exibidos. Em causa, está o *Desafio* para execução da letra “e” minúscula, com traço a cheio, escala a 100%, com duas repetições de sucesso e pontuação mínima de 60%. A figura 6.11 apresenta as quatro tentativas executadas pela criança até conseguir ultrapassar o desafio, por ordem de execução da esquerda para a direita.



Figura 6.11: Execuções observadas para a letra "e".

Na primeira tentativa, a criança levantou duas vezes a caneta para execução do gesto e notou-se alguma desorientação na execução do mesmo dado que executou de modo incorrecto parte do gesto. Nas seguintes tentativas a desorientação foi ultrapassada face à transmissão de instruções de voz no momento e o desempenho da criança foi visivelmente melhorando até alcançar o sucesso.

No gráfico da figura 6.12 são apresentadas as classificações obtidas nas quatro tentativas descritas anteriormente.

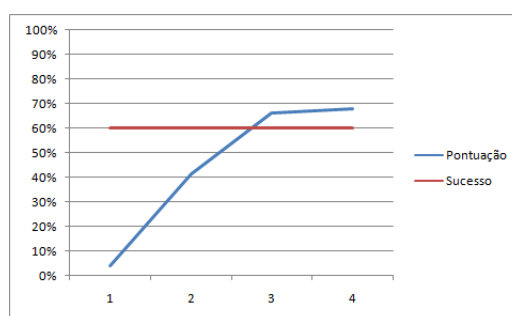


Figura 6.12: Evolução das classificações para as execuções observadas para a letra "e".

Face aos resultados obtidos em todas as experiências considera-se que os mesmos apontam para uma possível confirmação das premissas que levaram à construção desta plataforma.

6.3 Resumo

Este capítulo apresentou os processos avaliativos seguidos para a validação dos dois protótipos construídos sob a plataforma IWA. Na avaliação das duas ferramentas contou-se com a participação de utilizadores das duas populações alvo.

Para a avaliação do protótipo do professor, uma professora foi entrevistada durante uma apresentação interactiva da ferramenta. Durante a apresentação esta comentou algumas das decisões de concepção do sistema e no final salientou as suas principais vantagens e desvantagens. A autonomização das populações, a flexibilidade de construção de exercícios e a possibilidade de visualização das execuções e dos indicadores de desempenho apurados, foram apontadas como mais-valias, ao passo que a forte dependência de uma infra-estrutura dispendiosa e a impossibilidade de gravar instruções gráficas em simultâneo com as instruções de voz, foram enumerados como principais pontos para consideração e análise futura.

O protótipo dos alunos, foi por sua vez submetido a dois tipos de avaliações: a professora primária foi entrevistada tendo fornecido valiosos contributos relativamente a conceitos pedagógicos apropriados e foram ainda realizados testes com sete crianças. Nestes testes verificou-se que as crianças mais jovens apresentaram algumas dificuldades de percepção do objectivo proposto. Por outro lado, as crianças com quatro ou mais anos apreciaram o sistema principalmente pelo mecanismo de avaliação do seu desempenho. Da observação dos resultados, observou-se uma tendência de melhoria de resultados tanto na pontuação de desempenho quanto na redução do número de tentativas e de levantamentos efectuados.

Capítulo 7

Conclusão

Esta tese apresenta e descreve a plataforma IWA - Improving Writing Ability e as componentes aplicacionais que a compõem: uma ferramenta para o professor definir e construir desafios e uma ferramenta de execução de exercícios dedicada a crianças em idade pré-escolar. Esta plataforma serve o objectivo de autonomizar tanto professores como alunos durante o processo de repetição e aperfeiçoamento da caligrafia. Para isso, foram criadas diversas estruturas de dados que permitem a gravação de gestos do professor formando modelos e a posterior reutilização dos mesmos para a definição de diversos tipos de desafios de acordo com o objectivo que o professor pretende atingir. Estes desafios são então agrupados sob a forma de unidades de aprendizagem que são exportadas para a ferramenta das crianças para que estas possam executar as tarefas associadas a cada desafio. Após a execução dos exercícios, o professor tem possibilidade de visualizar a reprodução dos mesmos e de analisar as métricas extraídas de forma automática pelo sistema, de modo a acompanhar o desenvolvimento do aluno.

Estas ferramentas foram avaliadas através da realização de entrevistas a uma educadora primária e de sessões de testes com cinco crianças. Apesar do reduzido número de participantes nos testes efectuados foram extraídas algumas informações importantes que contribuíram para a evolução e melhoria das funcionalidades da interface das crianças e para indicação de algumas tendências comportamentais das crianças face ao sistema apresentado. Os testes realizados à plataforma apresentada revelaram-se extraordinariamente positivos tanto ao nível dos resultados de melhorias apresentadas pelos sujeitos envolvidos nas experiências quanto da adesão das crianças ao conceito apresentado. Também a educadora envolvida deu um parecer muito positivo e contribuiu activamente com sugestões de ajustes para as melhorias implementadas no produto apresentado na segunda sessão de testes. No entanto, dos breves testes efectuados à actual solução, foi notório que o IWA pode beneficiar ainda de diversas evoluções que melhorem tanto a interface do tutor quanto a interface das crianças.

A plataforma IWA apresenta benefícios para os dois perfis de utilizadores: para as crianças o mecanismo de recompensa e a validação imediata do seu desempenho actuam

como factores motivadores que por sua vez levam ao aperfeiçoamento da caligrafia; para os professores, a possibilidade de extracção de variadas métricas auxilia-os na identificação de problemas específicos como a dislexia, etc., alertando-os assim para a necessidade de um acompanhamento mais próximo das crianças com estes problemas através da execução de exercícios específicos que as ajudem a ultrapassar as suas dificuldades. Por outro lado, enquanto os outros sistemas visam apenas a melhoria das capacidades de escrita, esta plataforma implementa uma real autonomização dos intervenientes privilegiando o grau de motivação dos alunos. Existem ainda outros sistemas que apenas fornecem uma base para repetição e aperfeiçoamento, contudo sem validação automática do desempenho, estando então dependentes do retorno do professor, ao contrário do que se passa com o IWA que é capaz de fornecer esta funcionalidade. Outra potencialidade desta plataforma passa pela sua capacidade de contribuir para a aprendizagem da leitura: ao se introduzirem sílabas através da concepção de gestos livres, as instruções de voz permitem à criança familiarizar-se com os fonemas que está a aprender a escrever.

7.1 Trabalho futuro

A realização de novas sessões de avaliação compreendendo mais entrevistas a uma população mais lata de professores e mais testes com crianças com idades e níveis de escolaridade muito semelhantes, será certamente o desenrolar mais imediato deste projecto. Também a organização de sessões de testes com crianças, realizadas em paralelo com uma população de controlo que utilize os métodos tradicionais e outra que utilize a plataforma IWA, podem efectivamente dar significância real às hipóteses em que este estudo se baseia. Por outro lado, também a execução de novos testes sobre uma plataforma com características tecnológicas de reconhecimento táctil diferentes poderá revelar melhores resultados no que se refere à sensibilidade aos gestos efectuados pelos utilizadores.

Dos testes efectuados, a ferramenta do tutor beneficiaria do redesenho da sua interface, tornando-a mais usável com a caneta, minimizando o recurso ao rato para poder interagir com os controlos de definição de desafios. Outra grande melhoria passaria pela disponibilização de algumas funcionalidades como a utilização de um assistente automático para a concepção das unidades de aprendizagem de uma forma guiada e intuitiva, a possibilidade de efectuar a gravação de instruções gráficas acompanhadas por instruções de voz para assim enquadrar melhor o aluno, a visualização da forma como os parâmetros usados no algoritmo de avaliação se relacionam, a personalização da interface gráfica dos alunos para diversos tipos de utilizadores (género e a faixa etária destino, por exemplo) e ainda, a implementação de um mecanismo de extracção de novas métricas relativas às execuções dos exercícios.

Também a interface dedicada às crianças, poderia beneficiar da possibilidade de definição de um modelo de utilizador que permitisse à interface ajustar-se de modo a pro-

porcionar uma melhor usabilidade do sistema ou um comportamento mais adequado à criança. Por exemplo: a adaptação das imagens dos botões de acordo com o género e a faixa etária do aluno, ou ainda na redistribuição dos controlos da interface reduzindo os efeitos de oclusão causados pela posição de execução das tarefas (por exemplo: no caso uma criança ser esquerdina a sua postura poderá ocultar a barra de progresso que transmite a avaliação de desempenho). Por outro lado, no caso de a criança estar a executar um desafio que requer classificação de sucesso em mais do que uma execução do mesmo modelo, será necessário contextualizar esta mesma necessidade de repetição com indicação visual das repetições bem sucedidas e as que ainda não foram conseguidas. Outra evolução ao sistema, seria dotá-lo de alguma adaptatividade no que respeita ao ajustamento do grau de dificuldade usado no algoritmo de avaliação de acordo com o nível de acuidade demonstrado pela criança. Esta medida tem como objectivo reduzir o factor de desmotivação ou de frustração que pode afectar a criança durante a execução dos exercícios: a desmotivação ocorre numa situação em que a criança demonstra capacidades já bastante avançadas relativamente às tarefas que lhe são solicitadas; a frustração ocorre quando a criança persiste em executar erradamente as tarefas apresentadas sem entender o motivo pelo qual não está a conseguir ultrapassar o desafio em causa, permitindo-lhe avançar para os exercícios seguintes face a um bloqueio.

Bibliografia

- [1] C. Ardito, M. F. Costabile, M. De Marsico, R. Lanzilotti, S. Levialdi, T. Roselli, and V. Rossano. An approach to usability evaluation of e-learning applications. *Universal Access in the Information Society*, 4(3):270–283, 2005.
- [2] Ronald Baecker, Ian Small, and Richard Mander. Bringing icons to life. In *CHI '91: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 1–6, New York, NY, USA, 1991. ACM.
- [3] Florence Bara, Édouard Gentaz, and Pascale Colé. Haptics in learning to read with children from low socio-economic status families. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(4):643–663, November 2007.
- [4] Maria Cecília de Oliveira Micotti. O ensino e o aprendizado da escrita - novos olhares. *EDUCAÇÃO: Teoria e Prática*, 16, 2007.
- [5] Allison Druin, Ben Bederson, Angela Boltman, Adrian Miura, Debby Knotts-Callahan, and Mark Platt. Children as our technology design partners. In *The design of children's technology*, pages 51–72. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1998.
- [6] Mohamad A. Eid, Mohamed Mansour, Abdulmotaleb H. El Saddik, and Rosa Iglesias. A haptic multimedia handwriting learning system. In *Emme '07: Proceedings of the international workshop on Educational multimedia and multimedia education*, pages 103–108, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [7] Libby Hanna, Kirsten Risdén, and Kirsten Alexander. Guidelines for usability testing with children. *interactions*, 4(5):9–14, 1997.
- [8] K. Henmi and T. Yoshikawa. Virtual lesson and its application to virtual calligraphy system. In *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1275–1280. IEEE, 1998.
- [9] Younhee Kim, Zoran Duric, Naomi Lynn Gerber, Arthur R. Palsbo, and Susan E. Palsbo. Poster: Teaching letter writing using a programmable haptic device interface for children with handwriting difficulties. In *3DUI '09: Proceedings of the 2009*

- IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, pages 145–146, Washington, DC, USA, 2009. IEEE Computer Society.
- [10] Poh-Hwa Liang and James Johnson. Using technology to enhance early literacy through play. *Comput. Sch.*, 15(1):55–64, 1999.
- [11] D. Norman. *Things that make us smart: defending human attributes in the age of the machine*. Perseus Publishing, Cambridge, MA, 1993.
- [12] R. Palluel-Germain, F. Bara, A. Hillairet de Boisferon, B. Hennion, P. Gouagout, and E. Gentaz. A visuo-haptic device - telemaque - increases kindergarten children's handwriting acquisition. In *WHC '07: Proceedings of the Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pages 72–77, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer Society.
- [13] Joana Pereira, Luís Carriço, and Carlos Duarte. Improving children's writing ability. In J. A. Jacko, editor, *Human-Computer Interaction. Interacting in Various Application Domains. 13th International Conference, HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009, Proceedings, Part IV*, pages 186–195. Springer Berlin / Heidelberg, 2009.
- [14] Janet C Read, Stuart MacFarlane, and Peggy Gregory. Requirements for the design of a handwriting recognition based writing interface for children. In *IDC '04: Proceedings of the 2004 conference on Interaction design and children*, pages 81–87, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [15] Normahdiah Sheik Said. Towards a 'model of engagement' designing multimedia application for children. *Digital Learning*, 3(1), 2007.
- [16] R. Sassoon. *Helping children to write*. Paul Chapman Publishing, 1993.
- [17] R. Sassoon. Handwriting or calligraphy: An attempt at definitions. *Typographic*, 66, 2006.
- [18] Ben Shneiderman. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley Publishing, 1997.
- [19] Lorna Uden and Alan Dix. Iconic interfaces for kids on the internet. *J*, 296:66–3, 2000.
- [20] Daniel Vogel, Matthew Cudmore, Géry Casiez, Ravin Balakrishnan, and Liam Keliher. Hand occlusion with tablet-sized direct pen input. In *CHI '09: Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*, pages 557–566, New York, NY, USA, 2009. ACM.

- [21] Danli Wang, Tingting Ying, Jinquan Xiong, Hongan Wang, and Guozhong Dai. A pen-based teaching system for children and its usability evaluation. In J. A. Jacko, editor, *Human-Computer Interaction. Interacting in Various Application Domains. 13th International Conference, HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009, Proceedings, Part IV*, pages 256–265. Springer Berlin / Heidelberg, 2009.
- [22] Peta Wyeth and Helen C. Purchase. Using developmental theories to inform the design of technology for children. In *IDC '03: Proceedings of the 2003 conference on Interaction design and children*, pages 93–100, New York, NY, USA, 2003. ACM.